

## PERANCANGAN JARINGAN PIPA TRANSMISI MATA AIR UMBULAN

Bagus Budiwantoro<sup>1,a\*</sup>, I Nengah Diasta<sup>2,b</sup>, Yulistian Nugraha<sup>1,c</sup>, dan Alvin Salim<sup>1,d</sup>

<sup>1</sup>Lab. Perancangan-EDC FTMD Institut Teknologi Bandung, Jln. Ganesa No.10 Bandung, Indonesia,

<sup>2</sup>Lab. Mesin-mesin Fluida FTMD Institut Teknologi Bandung, Jln. Ganesa No.10 Bandung, Indonesia

<sup>a</sup>[budiwan@edc.ms.itb.ac.id](mailto:budiwan@edc.ms.itb.ac.id), <sup>b</sup>[inengahdiasta@gmail.com](mailto:inengahdiasta@gmail.com), <sup>c</sup>[yulistian.nugraha@yahoo.co.id](mailto:yulistian.nugraha@yahoo.co.id),  
<sup>d</sup>[alvin.salimm@gmail.com](mailto:alvin.salimm@gmail.com)

### Abstrak

Banyak mata air di berbagai daerah di Indonesia yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Sebagai contoh adalah mata air Umbulan, yang menghasilkan debit air bersih kurang lebih sebesar 5000 liter/detik yang sampai saat ini belum dimanfaatkan secara maksimal. Makalah ini menjelaskan perancangan perpipaan dari mata air Umbulan yang disalurkan ke kota Pasuruan, Bangil, Sidoarjo, Surabaya, dan Gresik sepanjang 98,8 km, lengkap dengan analisis aspek teknis, aspek ekonomi, dan sekaligus memberikan gambaran kelayakan investasi.

Analisis aspek teknis meliputi pemilihan jalur pipa, diameter dan tebal pipa yang optimum secara ekonomi pada setiap segmen kota yang dilalui. Terdapat dua alternatif pemilihan diameter yang berbeda. Analisis daya pompa, lokasi pompa, kavitasi, tekanan kerja maksimum dan minimum baik dalam keadaan tunak maupun transien (*water hammer* analisis) dilakukan secara teoritik dan numerik. Analisis numerik menggunakan perangkat lunak *Pipeflow Expert 2010 & Bentley Hammer V8i SS4*. Analisis finansial untuk kedua alternatif dilakukan dengan dasar harga jual Rp3500,00 per meter kubik dan bunga bank 12 % .

Alternatif pertama menggunakan satu pipa dengan menggunakan material baja, diameter pipa pada segmen kota Pasuruan, Bangil, Sidoarjo dan Surabaya adalah diameter nominal 2000 mm series B. Pada segmen Gresik, menggunakan pipa diameter nominal 1200 mm series B. Daya pompa yang dibutuhkan sebesar 1,41 MW dengan *head* sebesar 14,7 m. Jaringan perpipaan ini tidak mengalami kavitasi dan biaya investasi yang dibutuhkan sebesar Rp.2 Trilyun dengan biaya operasional tahunan sebesar Rp. 90 Milyar. Periode pengembalian investasi sesuai dengan analisis finansial adalah selama 7,5 tahun, IRR 16 %. NPV tahun ke 25 adalah Rp 2 Trilyun.

Alternatif kedua menggunakan 2 buah pipa sejajar dengan menggunakan material GRP, pipa pertama adalah segmen Umbulan-Pasuruan dengan diameter 1500 mm dan segmen Pasuruan-Bangil-Sidoarjo diameter 1400 mm sedangkan pipa kedua segmen Umbulan langsung ke Surabaya dengan diameter 1600 mm dan segmen Surabaya-Gresik diameter 1200 mm. Daya pompa yang dibutuhkan adalah 2 MW dengan *head* sebesar 46,17 m. Kedua pipa ini terbebas dari kavitasi dan memerlukan biaya investasi sebesar Rp 1,16 Trilyun dan biaya operasional tahunan sebesar Rp71 Milyar. Periode pengembalian investasi sesuai dengan analisis finansial adalah selama 4,5 tahun, IRR 18,3 % dan NPV tahun ke 25 adalah Rp 2,3 Trilyun.

**Kata kunci** : Perancangan, Perpipaan, Pipa Penyalur Air, Umbulan, *Pipeline Design*, *Financial Analysis*, *Finansial Analisis*, *Water Hammer*, *Pipeflow Expert 2010*, *Bentley Hammer V8 SS4*

## 1. Pendahuluan

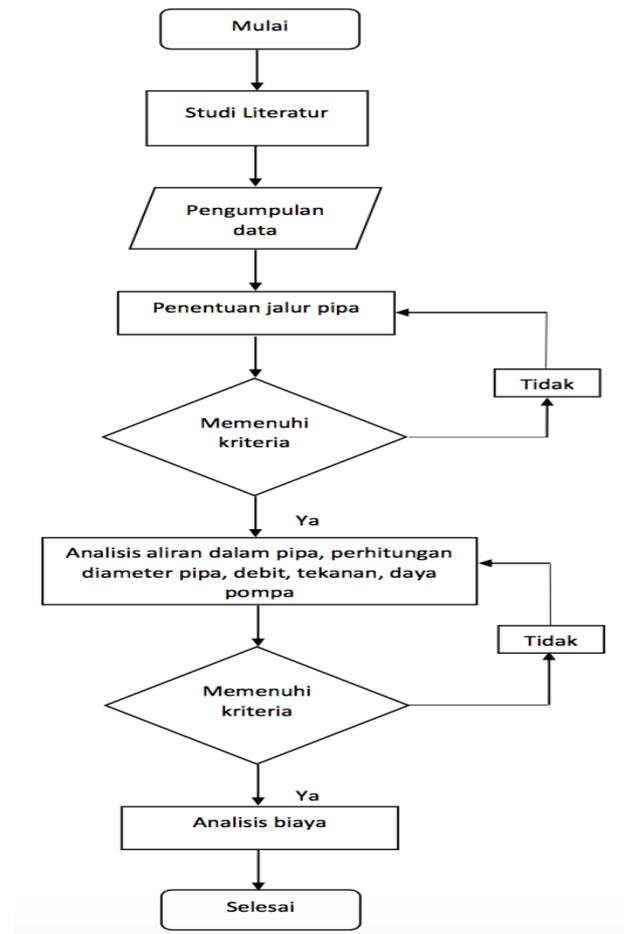
Potensi mata air hingga saat ini masih sangat sedikit yang dapat dimanfaatkan, karena masih minimnya jaringan pipa penyalur yang ada. Hal ini terkendala karena jauhnya jarak mata air ke daerah yang membutuhkan, sehingga dibutuhkan biaya investasi awal yang tinggi. Makalah ini membahas perancangan pipa penyalur dari mata air Umbulan yang hingga kini belum dimanfaatkan, meliputi aspek teknis, aspek ekonomi, dan sekaligus memberikan gambaran kelayakan investasinya.

Adapun tujuan yang ingin dicapai adalah sebagai berikut :

1. Menentukan diameter dan *schedule* pipa optimum pada jaringan pipa penyalur.
2. Menentukan besarnya tekanan aliran dalam kondisi tunak maupun transien
3. Mengetahui apakah terjadi kavitasi pada jaringan pipa penyalur
4. Menentukan *head* dan daya pompa yang dibutuhkan
5. Menentukan biaya investasi dan operasional optimum
6. Menentukan parameter finansial

## 2. Prosedur Perancangan

Langkah – langkah perancangan digambarkan secara skematik pada diagram alir Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir pengerjaan

### 2.1 Kriteria Perancangan

Kriteria perancangan yang ditentukan pada perancang ini adalah sebagai berikut :

- Umur perancangan 25 tahun
- Debit total 5000 l/s
- Kecepatan aliran 0,9 m/s – 3 m/s
- Harga jual air Rp3500,00 per meter kubik
- Bunga bank 12 %
- Depresiasi 4 %

### 2.2 Jalur Pipa

Sebenarnya harus dilakukan survei lapangan untuk mendapatkan data – data tentang lokasi yang akan dilalui pipa dari berbagai aspek. Untuk memilih jalur pipa yang baik, ada beberapa faktor yang dijadikan pertimbangan antara lain:

- Kondisi tanah
- Profil hidrolis
- Pemukiman disekitar jalur

- Tingkat populasi masyarakat
- Tingkat aktifitas masyarakat
- Kemudahan perawatan
- Tingkat keamanan terhadap sekitar
- Kerentanan terjadinya bencana
- Biaya pembangunan
- *Crossing* jalan dan perairan

Pada kasus ini dibuat berdasarkan peta rupa bumi yang diterbitkan Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional. Jalur pipa kemudian didigitalisasi menggunakan perangkat lunak *Google Earth Pro* yang ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2 Jalur pipa

Dari gambar 2 diatas terlihat bahwa secara garis besar pipa akan menyusuri jalan lokal dan jalan utama dengan tujuan agar meminimalisir biaya pembebasan lahan.

### 2.3 Penentuan Diameter Pipa

Diameter dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menghitung diameter teoritik yang kemudian akan disesuaikan dengan diameter nominal dari *code/standard* yang dipilih. Diameter teoritik dapat dihitung dengan persamaan yang diturunkan dari persamaan kontinuitas aliran sebagai berikut :

$$D_i = \sqrt{\frac{4 Q}{\pi V}} \quad (1)$$

### 2.4 Penentuan Tebal Pipa

Tebal pipa secara teoritik dihitung dengan menggunakan standard ASME B3.14 berikut [1].

$$t_p = \frac{P D_i}{2 \cdot 0,72 E S M Y S} \quad (2)$$

Dimana,

$t_p$  : Tebal pipa, mm

$P$  : Tekanan desain, MPa

$S M Y S$  : Tegangan luluh minimum yang diperbolehkan, MPa

$D_i$  : Diameter dalam pipa, mm

$E$  : Faktor sambungan las

Tebal pipa diatas masih harus memperhitungkan beberapa faktor seperti faktor *corossion allowance* dan *milling tolerance*, sebelum disesuaikan dengan *schedule* pipa. Persamaan tebal pipa dinyatakan sebagai berikut.

$$t_{req} = t_p + t_{CA} + t_{MT} \quad (3)$$

### 2.5 Perhitungan Head & Daya Pompa

Daya pompa dihitung dengan persamaan berikut [2]

$$H_p = \frac{P_D - P_S}{\rho g} + \frac{V_D^2 - V_S^2}{2g} + H_a + H_L \quad (4)$$

Dimana,

$H_p$  : Head pompa, m

$P$  : Tekanan fluida, Pa

$V$  : Kecepatan fluida, m/s

$\rho$  : Kerapatan massa, kg/m<sup>3</sup>

$H_a$  : Perbedaan ketinggian fluida (*head* statik), m

$g$  : Kecepatan gravitasi, m/s<sup>2</sup>

$H_L$  : kerugian – kerugian, m

Daya pompa dapat dihitung dengan terlebih dahulu menghitung besar daya fluida dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P_{fluida} = \gamma Q H_p \quad (5)$$

Kemudian didapat daya poros dan daya motor dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P_{poros} = \frac{P_{fluida}}{\eta_{pompa}} \quad (6)$$

$$P_{motor} = \frac{P_{poros}}{\eta_{motor}} \quad (7)$$

### 2.6 Perhitungan Water Hammer

Perubahan tekanan akibat *water hammer* dapat dihitung dengan terlebih dahulu menghitung besarnya gelombang kecepatan dan waktu kritis dengan persamaan berikut.

$$a = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{1 + \frac{KD}{Ee}}} \quad (8)$$

$$t = \frac{2L}{a} \quad (9)$$

Perhitungan kenaikan tekanan ditentukan oleh waktu penutupan katup  $t_c$  dibandingkan dengan  $t$ . Penutupan katup dianggap bertahap, jika  $t_c > t$ . Sedangkan, penutupan katup dianggap tiba – tiba jika  $t_c \leq t$ .

Perubahan tekanan akibat katup ditutup tiba – tiba dapat dihitung dengan persamaan.

$$\Delta H = \frac{a V_o}{g} \quad (10)$$

Sedangkan, perubahan tekanan karena katup ditutup secara bertahap dihitung dengan persamaan.

$$\Delta H = \frac{L V_o}{gt} \quad (11)$$

Dimana,

- $\Delta H$  : Kenaikan tekanan, m
- $a$  : Kecepatan gelombang tekanan, m/s
- $V_o$  : Kecepatan awal, m/s
- $g$  : Percepatan gravitasi, m/s<sup>2</sup>
- $L$  : Panjang pipa, m
- $t$  : waktu kritis, s

## 2.7 Penentuan Biaya Investasi dan Operasional

Biaya investasi dihitung dari harga setiap komponen pada jaringan perpipaan. Pada kasus ini, biaya komponen mencakupi biaya pipa, pompa dan katup. Sedangkan, biaya operasional diasumsikan dari biaya listrik untuk mengoperasikan pompa dan biaya akibat depresiasi investasi.

## 3. Data Perancangan dan Analisis

Pipa untuk alternatif 1 dipilih menggunakan pipa baja sesuai dengan standar ISO 559:1991. Sedangkan untuk alternatif 2 akan digunakan pipa *Glass Reinforced Plastic* berdasarkan standar ASTM D3517. Air akan didistribusikan ke Pasuruan, Bangil, Sidoarjo, Surabaya, dan Bangil dengan debit untuk masing – masing daerah seperti tercantum pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Debit permintaan tiap daerah

Daerah	Debit yang diminta (l/s)
Pasuruan	375
Bangil	250
Sidoarjo	1500
Surabaya	1500
Gresik	1375

Fluida kerja yang digunakan adalah air pada temperatur 20° C dengan data seperti yang tercantum pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2 Data fluida kerja

Sifat – sifat air	Besaran
Massa jenis, $\rho$	998,2 kg/m <sup>3</sup>
Berat spesifik, $\gamma^a$	9,789 kN/m <sup>3</sup>
Viskositas kinematik, $\nu$	1,004 x 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
Tekanan uap jenuh, $P_v$	2,388 x 10 <sup>3</sup> N/m <sup>2</sup> (abs)
Modulus Bulk, $K$	2 x 10 <sup>9</sup> N/m <sup>2</sup>

Pemasangan aksesoris disesuaikan dengan jalur pipa yang dibuat, dan diasumsikan dipasa *gate valve* setiap 2 km untuk kebutuhan perawatan.

### 3.1 Diameter Pipa

Diameter teoritik dihitung dengan pers.1 dengan mengasumsikan kecepatan aliran sebesar 1,6 m/s yang kemudian disesuaikan dengan standar. Hasil perhitungan diameter teoritik dan diameter nominal yang dipilih untuk alternatif 1 terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3 Perhitungan Diameter Alternatif 1

Segmen pipa	Diameter nominal (mm)	Diameter teoritik (m)
Segmen Pasuruan	2000	2,00
Segmen Bangil	2000	1,92
Segmen Sidoarjo	2000	1,87
Segmen Surabaya	1600	1,51
Segmen Gresik	1100	1,05

Sedangkan untuk alternatif kedua terdapat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4 Perhitungan Diameter Alternatif 2 Jalur 1

Segmen pipa	Diameter nominal (mm)	Diameter teoritik (m)
Segmen Pasuruan	1500	1,44
Segmen Bangil	1400	1,36
Segmen Sidoarjo	1400	1,38

Tabel 5 Perhitungan Diameter Alternatif 2 Jalur 2

Segmen pipa	Diameter nominal (mm)	Diameter teoritik (m)
Segmen Pasuruan-Surabaya	1600	1,56
Segmen Surabaya-Gresik	1200	1,12

### 3.2 Analisis dengan *Pipeflow Expert 2010*

Pemodelan alternatif 1 pertama-tama dilakukan dengan hanya memanfaatkan energi gravitasi. Namun, hasil menunjukkan bahwa akan terjadi aliran balik karena energi tersebut tidak cukup untuk mengalirkan fluida hingga ujung tangki. Sehingga, dilakukan modifikasi dengan menambahkan 1 pompa.

Hasil simulasi perhitungan dengan menambahkan 1 pompa yang diletakkan setelah percabangan menuju *reservoir* Sidoarjo ditunjukkan oleh Tabel 6.

Tabel 6 Hasil simulasi pertama

P maks [Bar]	P min [Bar]	Head[m]	NPSH [m]
5,53	0,27	51,78	14,27

Dari Tabel 6 di atas dapat dilihat bahwa *head* yang terjadi cukup tinggi, sehingga dilakukan modifikasi pada pipa segmen Surabaya dan Gresik dengan mengubah diameter menjadi 2000 mm dan 1200 mm. Dengan diameter yang baru tersebut, kecepatan aliran masih didalam batas rentang kecepatan yang diperbolehkan. Hasil modifikasi terdapat pada Tabel 7.

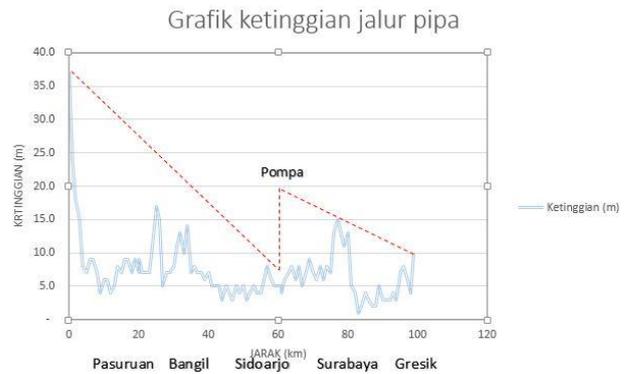
Tabel 7 Hasil simulasi kedua

P maks [Bar]	P min [Bar]	Head[m]	NPSH [m]
3,78	0,27	33,34	14,27

Seperti juga pada perhitungan jalur pipa alternatif 1, maka dilakukan strategi perhitungan yang sama untuk jalur pipa alternatif 2, yang pompanya diletakkan setelah *reservoir* Pasuruan. Hasil simulasi terdapat pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil Simulasi Alternatif 2 Jalur 2

P maks [Bar]	P min [Bar]	Head[m]	NPSH [m]
6,01	1,3	46,17	23,13



Gambar 3 Profil hidrolis alternatif 1

Gambar 3 adalah profil hidrolis dari Umbulan-Gresik untuk analisis alternatif 1.

### 3.3 Head Pompa Teoritik

Untuk menghitung besarnya *head* pompa yang dibutuhkan untuk jaringan perpipaan ini, terlebih dahulu dihitung besarnya *head* untuk mengalirkan air ke setiap *reservoir*. *Head* terbesar merupakan *head* yang dibutuhkan dalam jaringan perpipaan ini. *Head* pompa dihitung dengan pers. 4. Hasil perhitungan terdapat pada tabel 9.

Tabel 9 Head Teoritik Alternatif 1

Reservoir	Head [m]
.Pasuruan	-13,88
Bangil	-1,73
Sidoarjo	-0,27
Surabaya	18,03
Gresik	31,33

Dari hasil perhitungan, hasil negatif menunjukkan bahwa tidak dibutuhkannya tambahan energi dari pompa untuk mengalirkan air. *Head* terbesar merupakan yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari mata air menuju *reservoir* Gresik. Hal tersebut menunjukkan bahwa untuk sistem ini *head* pompa yang dibutuhkan adalah sebesar 31,33 m.

Sedangkan untuk alternatif kedua, langkah yang sama dilakukan untuk jalur kedua alternatif 2 didapatkan *head* nya seperti yang dicantumkan pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10 *Head* teoritik alternatif 2 jalur 2

<i>Reservoir</i>	<i>Head</i> [m]
.Pasuruan	-12,27
Bangil	2,00
Sidoarjo	13,06
Surabaya	34,92
Gresik	44,37

Dimana nilai negatif menandakan tidak dibutuhkan tambahan energi untuk air dapat mengalir. Nilai *head* maksimum adalah nilai *head* yang dibutuhkan untuk mengalirkan air sampai ke *reservoir* Gresik. Dalam hal ini nilai *head* nya adalah 44,37 m.

### 3.4 NPSHA dan Daya Pompa

Pada sistem ini, di asumsikan efisiensi kerja pompa sebesar 70% dan efisiensi motor sebesar 95%. Dengan menggunakan pers. 5, pers. 6, dan pers. 7 didapat daya pompa untuk alternatif 1 sebesar

$$P_{fluida} = \gamma Q H_p = 0,9 \text{ MW}$$

$$P_{poros} = \frac{P_{fluida}}{\eta \text{ pompa}} = 1,3 \text{ MW}$$

$$P_{motor} = \frac{P_{fluida}}{\eta \text{ motor}} = 1,4 \text{ MW}$$

Sedangkan untuk alternatif kedua dimana pompa diletakkan pada jalur kedua maka daya pompa yang diperlukan adalah sebesar

$$P_{fluida} = \gamma Q H_p = 1,31 \text{ MW}$$

$$P_{poros} = \frac{P_{fluida}}{\eta \text{ pompa}} = 1,9 \text{ MW}$$

$$P_{motor} = \frac{P_{fluida}}{\eta \text{ motor}} = 2 \text{ MW}$$

### 3.5 Tebal Pipa

Tebal pipa dihitung dengan pers. 2 dan pers. 3 dengan nilai E sebesar 0,8 (*spiral welded pipe*) [2] dan SMYS 345 Mpa [3]. Laju korosi diasumsikan sebesar 2 mpy dan toleransi akibat proses produksi sebesar 12,5% [3].

Kemudian tebal hasil perhitungan disesuaikan dengan standar dan dipilih tebal pipa dengan *schedule series B* [3]. Hasil perhitungan dan *schedule* yang dipilih untuk alternatif 1 terdapat pada Tabel 11.

Tabel 11 Tebal pipa alternatif 1

Pipa	tp [mm]	treq [mm]	tebal series B [mm]
Segmen Pasuruan	3,9	5,9	16,0
Segmen Bangil	3,9	5,9	16,0
Segmen Sidoarjo	3,9	5,9	16,0
Segmen Surabaya	3,9	5,9	14,2
Segmen Gresik	2,4	4,1	8,8

Untuk alternatif 2 dimana pipa menggunakan material GRP, maka penentuan tebal pipa sesuai dengan standar ASTM D3517 hanya memperhitungkan tekanan desain pipa yang nilainya adalah 1,5 kali tekanan operasi. Sehingga didapat ketebalannya yang dicantumkan pada Tabel 12.

Tabel 12 Ketebalan pipa alternatif 2

Pipa	Ketebalan Jalur 1 (mm)	Ketebalan Jalur 2 (mm)
Segmen Pasuruan	18,2	16,7
Segmen Bangil	17,1	16,7
Segmen Sidoarjo	17,1	16,7
Segmen Surabaya	-	16,7
Segmen Gresik	-	12,8

### 3.6 Waterhammer

Perubahan tekanan akibat *water hammer* dihitung dengan pers. 8, pers. 9, pers. 10, dan pers. 11. Hasil perhitungan pada pipa alternatif 1 terdapat pada tabel 13.

Tabel 13 Perubahan *Head* akibat *water hammer* pada pipa alternatif 1

Pipa	L [m]	a [m/s]	v [m/s]	t [s]	$\Delta H$ [m]
Segmen Pasuruan	20000	937.1	1.6	42,7	152,1
Segmen Bangil	13000	937.1	1.5	27,7	140,7
Segmen Sidoarjo	24000	937.1	1.4	51,2	133,1
Segmen Surabaya	18000	937.1	0.9	38,4	87,4
Pipa segmen Gresik	21789	947.9	1.2	46,0	117,7

Sedangkan untuk pipa alternatif 2 maka hasil perhitungannya adalah seperti pada Tabel 14 untuk pipa jalur 1 dan Tabel 15 untuk pipa jalur 2.

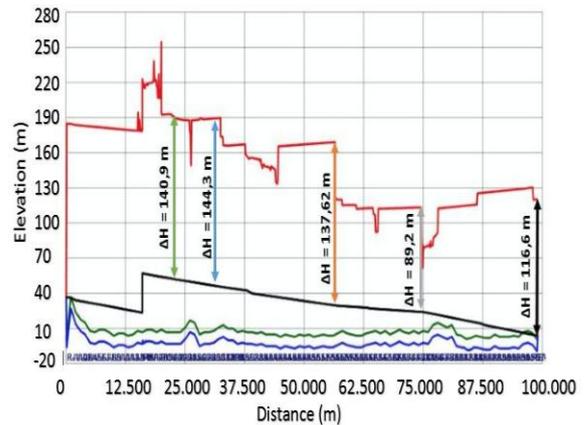
Tabel 14 Perubahan *Head* akibat *water hammer* pada pipa alternatif 2 jalur 1

Pipa	L [m]	a [m/s]	v [m/s]	t [s]	$\Delta H$ [m]
Segmen Pasuruan	20000	504	1,3	80	62
Segmen Bangil	13000	504	1,2	54	58,9
Segmen Sidoarjo	24000	507	1	106	50,5

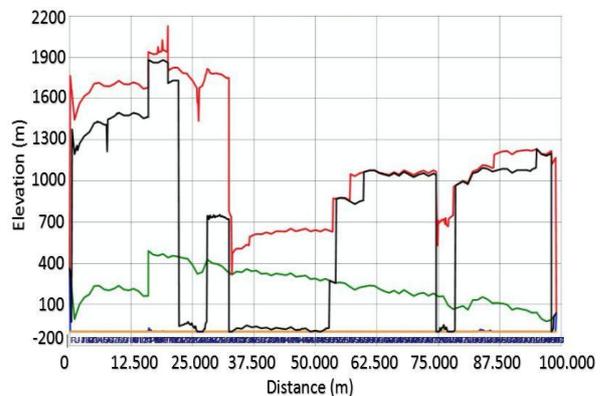
Tabel 15 Perubahan *Head* akibat *water hammer* pada pipa alternatif 2 jalur 2

Pipa	L [m]	a [m/s]	v [m/s]	t [s]	$\Delta H$ [m]
Segmen Surabaya	18000	465	1,5	69	73
Pipa segmen Gresik	21789	465	1,4	93	57

Analisis simulasi *water hammer* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Bentley Hammer V8i SS4*. Hasil simulasi alternatif 1 ditunjukkan oleh Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4 Perubahan *head* akibat *water hammer*



Gambar 5 Tekanan saat kondisi *water hammer*

Keterangan gambar :

- █ Tekanan minimum
- █ Tekanan maksimum
- █ Tekanan transien

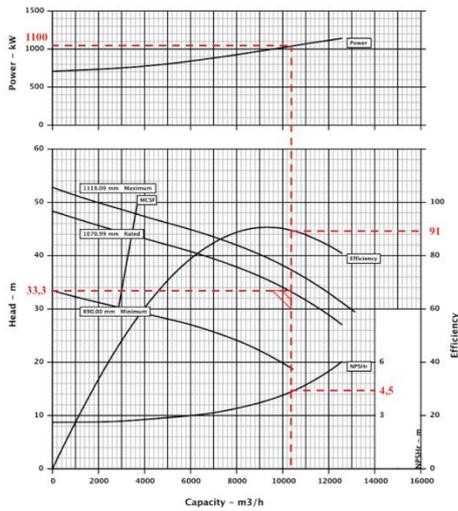
Dilakukann simulasi yang sama untuk alternatif 2 dan didapat tekanan minimum dan maksimum pada jalur 1 adalah 0,1 bar.a dan 7,6 bar.a, sedangkan untuk jalur 2 adalah 1,2 bar.a dan 11,8 bar.a.

### 3.7 Analisis Kavitasasi

Kavitasi terjadi ketika tekanan berada dibawah tekanan uap jenuh. Tekanan uap jenuh air terdapat pada tabel 2. Dari hasil perhitungan didapat tekanan minimum yang terjadi pada pipa alternatif 1 sebesar 0,04 bar.a dan masih diatas tekanan uap jenuh. Sedangkan untuk pipa alternatif 2 maka

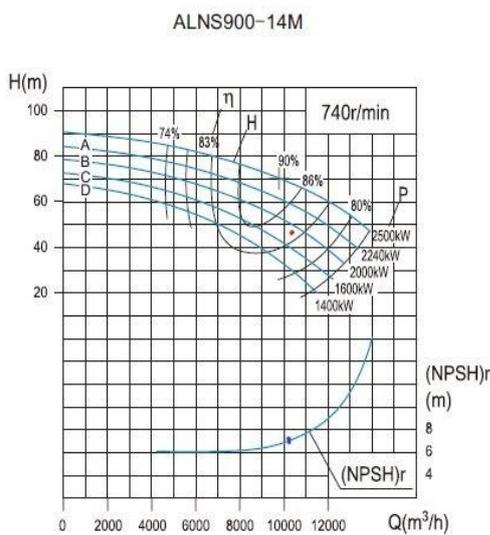
tekanan minimumnya adalah 0,1 bar. a untuk jalur 1 dan 1,2 bar. a untuk jalur 2 dan masih berada diatas tekanan uap jenuh

Kavitasi juga dapat dihindari jika  $NPSH_A > NPSH_R$ . Nilai  $NPSH_A$  didapat dari simulasi sebesar 14,7 m, sedangkan  $NPSH_R$  didapat dari kurva karakteristik pompa pada Gambar 6 sebesar 4,5 m.



Gambar 6 Kurva karakteristik pompa alternatif 1 [5]

Sedangkan untuk alternatif 2 maka  $NPSH_A$ nya adalah sebesar 23,1 m dan nilai  $NPSH_R$ nya mengacu pada Gambar 7 adalah sebesar 7 m.



Gambar 7 Kurva Karakteristik Pompa Alternatif 2 [6]

Dari hasil analisis kedua aspek diatas, disimpulkan kavitasi tidak terjadi pada jaringan perpipaan ini.

### 3.8 Biaya Investasi

Biaya pipa diasumsikan sebesar 20 USD per inch-meter yang didapat dari data proyek sejenis dengan kurs Rp14.000,00. Sedangkan biaya pompa dan katup didapat dari situs jual beli online [4]. Biaya investasi total untuk jaringan perpipaan alternatif 1 tercantum pada Tabel 16.

Tabel 16 Biaya investasi pipa alternatif 1

Komponen	Harga [Rp]	Jumlah	Total [Rp]
Pipa 2000mm	22.036.232/m	83498 m	1.839.981.330.597,26
Pipa 1200mm	13.217.329/m	15291 m	202.106.192.601,85
Pompa	760.000.000	1	760.000.000,00
Gate Valve 2000mm	13.000.000	41	533.000.000,00
Gate Valve 1200mm	10.400.000	13	135.200.000,00
<b>Total Investasi</b>			<b>2.043.521.572.199,11</b>

Sedangkan untuk alternatif 2 maka biaya investasinya adalah seperti pada Tabel 17.

Tabel 17 Biaya Investasi Pipa Alternatif 2

Komponen	Harga per satuan (Rp)	Jumlah	Total Biaya
Pipa 6 bar 1400 mm	39.650.380	3.784 satuan	150.037.037.920
Pipa 6 bar 1500 mm	46.551.960	3.384 satuan	77.078.610.000
Pipa 12 bar 1200 mm	42.250.600	3.617 satuan	72.258.988.000
Pipa 12 bar 1600 mm	71.301.720	12.867 satuan	451.290.658.000
Pompa	2.058.000.000	1 satuan	2.058.000.000
Flange	9.800.000	13311 satuan	130.447.800.000
Gate Valve Butterfly Valve	28.000.000	74 satuan	2.072.000.000
Biaya Pemasangan	-	5 satuan	140.000.000
<b>Total Investasi</b>			<b>1.159.811.772.000</b>

### 3.9 Biaya Operasional

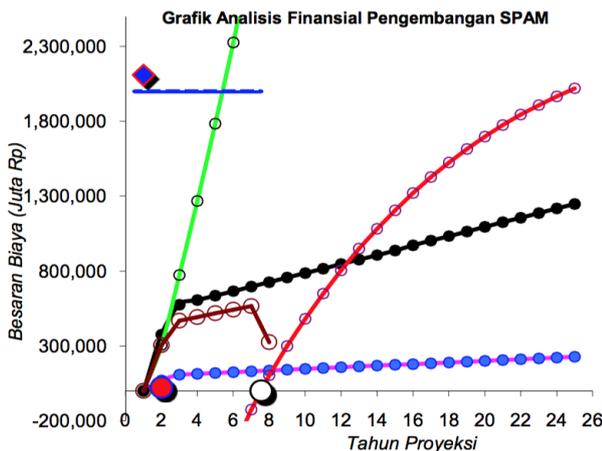
Biaya operasional pompa dihitung dari tarif listrik dan biaya depresiasi dengan umur perancangan adalah sebesar 4%. Biaya operasional total untuk jalur pipa alternatif 1 adalah Rp 90 Milyar per tahun, sedangkan

untuk Alternatif 2 adalah Rp 72 Milyar per tahun.

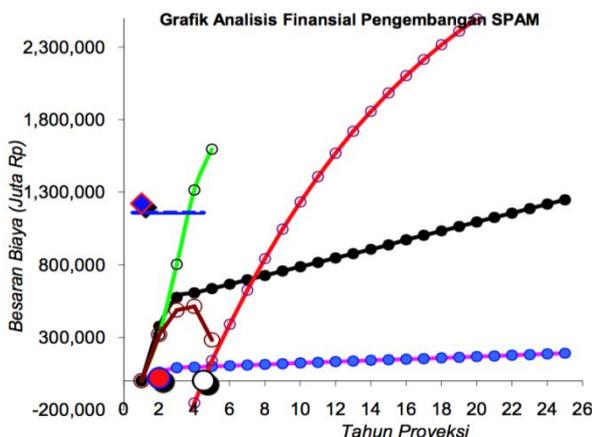
### 3.10 Analisis Finansial

Asumsi dalam perhitungan finansial ini adalah bunga bank 12%, depresiasi untuk umur perancangan 25 tahun adalah 4% dan harga jual air adalah Rp 3.500,00.

Grafik analisis finansial alternatif pertama dapat dilihat pada Gambar 8, sedangkan alternatif kedua dapat dilihat pada Gambar 9. Dari grafik tersebut dan perhitungan analisis finansial diperoleh periode pengembalian investasi alternatif pertama, adalah selama 7,5 tahun, IRR 16 % dan NPV tahun ke 25 adalah Rp 2 Trilyun. Sedangkan untuk alternatif kedua, diperoleh periode pengembalian investasi adalah selama 4,5 tahun, IRR 18,3 % dan NPV tahun ke 25 adalah Rp 2,3 Trilyun.



Gambar 8 Analisis finansial alternatif 1



Gambar 9 Analisis finansial alternatif 2  
 Keterangan gambar :

- ◆ INVESTASI
- ▲ penjualan sambungan rumah
- biaya operasi dan pemeliharaan
- dana cadangan biaya operasi
- penjualan air
- pengembalian investasi
- akumulasi pengembalian investasi
- Net Present Value (NPV)
- opsional pengembalian investasi
- BEP
- BEP opsional

### 4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari makalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada alternatif 1 pipa yang digunakan adalah *Steel Series B* sesuai dengan ISO 559:1991 dengan diameter pada pipa segmen Pasuruan, Bangil, Sidoarjo, dan Surabaya sebesar 2000 mm, sedangkan pipa segmen Gresik sebesar 1200 mm. Pada alternatif 2 digunakan 2 buah pipa sejajar dengan diameter 1500 mm dan 1400 mm untuk pipa pertama serta 1600 mm dan 1200 mm untuk pipa kedua
2. Pada alternatif 1, saat kondisi tunak tekanan minimumnya sebesar 1,27 bar.a dan tekanan maksimumnya sebesar 4,78 bar.a, saat kondisi transien, tekanan minimum yang terjadi sebesar 0,04 bar.a maksimum yang terjadi sebesar 21,2 bar.a. Pada alternatif 2, saat kondisi tunak dan tekanan minimumnya sebesar 1,3 bar.a tekanan maksimumnya sebesar 6,01 bar.a. Saat kondisi transien, tekanan minimum dan maksimum pada jalur 1 adalah 0,1 bar.a dan 7,6 bar.a, sedangkan untuk jalur 2 adalah 1,2 bar.a dan 11,8 bar.a.
3. Tekanan minimum yang terjadi baik kondisi tunak maupun transien pada alternatif 1 dan 2 masih di atas tekanan uap jenuh air sebesar 0,02 bar.a, dan  $NPSH_A > NPSH_R$  untuk kedua alternatif sehingga tidak terjadi kavitasi.
4. *Head* pompa dan daya pompa yang dibutuhkan pada alternatif 1 sebesar 33,33 m dan 1,4 MW. Sedangkan

pada alternatif *2head* dan daya pompa sebesar 46,17 m dan 2 MW.

5. Biaya investasi dan operasional setiap tahun yang dibutuhkan pada alternatif 1 sebesar Rp2 Trilyun dan Rp90 Milyar. Pada alternatif 2 sebesar Rp1.2 Trilyun dan Rp72 Milyar
6. Analisis finansial diperoleh periode pengembalian investasi alternatif pertama, adalah selama 7,5 tahun, IRR 16 %. NPV tahun ke 25 adalah Rp 2 Trilyun sedangkan untuk alternatif kedua diperoleh periode pengembalian investasi adalah selama 4,5 tahun, IRR 18,3 % dan NPV tahun ke 25 adalah Rp 2,3 Trilyun.

Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids, New York, 2006.

- [2] I Nengah Diasta, Diktat SKE II : Klasifikasi dan Konstruksi Pompa, Departemen Teknik Mesin ITB, 2014.
- [3] International Organization for Standardization, ISO 559:1991: Steel Tubes for Water and Sewage, Switzerland, 1991.
- [4] Information on <http://alibaba.com>
- [5] Information on <http://flowserve.com>
- [6] Single Case Double Suction Split Casing Centrifugal Pump Catalogue, AOLI Pump, China, 2015

## 5. Referensi

- [1] The American Society of Mechanical Engineering, Pipeline Transportation