

Analisis Perbandingan Alternatif Pemenuhan Kapasitas *Cooling Water Chiller* dengan Penggantian Pompa dan Penambahan Jalur Pipa Baru pada Proses Produksi Sabun

Ayu Safitri ^{1*}, Muhammad Shah², R. Dimas Endro W³

Program Studi D4 Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia ^{1*,3}

Program Studi D3 Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia ²

Email: ayusafitri1331@gmail.com^{1*}

Abstract - The soap production plant plans to increase the capacity of the cooling water chiller by creating a new pipeline using the tie-in method. However, the addition plan is possible to be costly enough. On the other hand, to add a supply of cooling water chiller, there is still a way that can be done, namely by enlarging the pump's power to be able to meet the cooling water chiller capacity itself, without having to add a new pipeline. The pump replacement planning uses Bernoulli calculation and the 2013 Pipe Flow Expert modeling software. While the planning of the new pipeline considers the sustained and occational loads received by the pipe according to ASME B31.3 Process Piping standard to ensure the new pipeline is safe. In each alternative will take into account the costs incurred. Selection of alternative recommendations using the BCA method (Benefit Cost Analysis). The pump power which is able to meet the cooling water chiller capacity of 78.04 m³ / hr without replacing the pump is 26,236 kW with a pump head value of 17,751 m. According to the standard, allowable stress on new pipelines is 16,700 psi for sustained load and 22,211 psi. The two alternative design of new pipelines have met the standard because they have a load value less than allowable stress which is 101,875 psi for occational load and 227,361 psi in alternative design (1) and 153,469 psi in design (2) for sustained loads. After calculating the overall cost, a feasible alternative to recommend is the first alternative, namely by replacing pumps with greater power and being able to meet the desired capacity without adding new pipelines.

Keyword : PFE, Pump Power, ASME B31.3 Process Piping, Benefit Cost Analysis

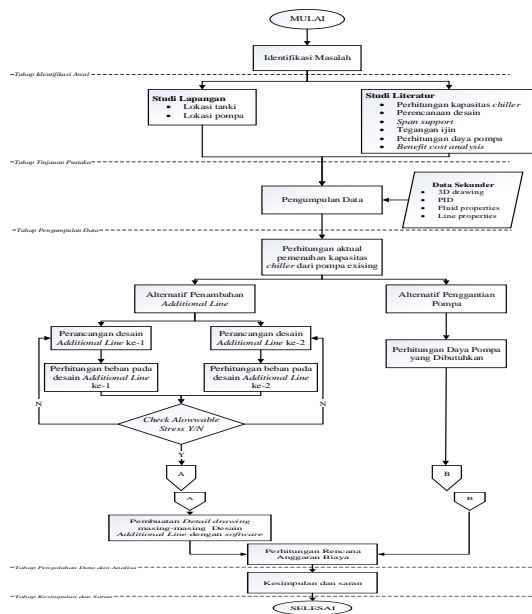
1. PENDAHULUAN

Salah satu pabrik produksi sabun di Kabupaten Gresik memerlukan tambahan pasokan bahan baku (*supply*) di tempat produksinya. Penambahan *supply* dilakukan dengan menambahkan jalur baru pada *line existing* dengan metode *tie-in*. Air dialirkan menggunakan *sentrifugal pump* yang berada di area lantai satu menuju *cooling water chiller* pada area produksi lantai tiga. Pada jalur ini, terdapat pompa sentrifugal sehingga jalur ini dianggap merupakan jalur yang melayani peralatan rotasi (*rotating equipment*). Namun, untuk mengatasi permasalahan pada penambahan, dibutuhkan kajian lebih mendalam berkenaan dengan kapasitas *cooling water chiller* itu sendiri. Dalam hal ini, yang dimaksudkan adalah berapa kapasitas *cooling water chiller* yang optimal. Penelitian ini dilakukan untuk menemukan cara terbaik dalam pemenuhan *supplay* air pada *cooling water chiller* sesuai yang diinginkan *customer*. Akan dibuat dua alternatif yang dapat dipilih, alternatif pertama adalah penggantian pompa. Alternatif ke dua adalah dengan

melakukan penambahan *additional line*, dan memastikan desain aman dengan menganalisis tegangan yang terjadi sepanjang pipa menggunakan standard *ASME B31.3* yaitu *Proccess Piping*. Akan ada dua desain *additional line* yang akan dibuat. Selanjutnya juga akan dilakukan Analisis rencana anggaran biaya dari kedua alternatif tersebut.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram alir

2.2 Cooling Water Chiller

Chiller adalah mesin pendingin yang digunakan untuk mendinginkan air sebagai media pendingin (penukar panas). Chiller terdiri dari beberapa instrumen yang terintegrasi menjadi satu, yaitu: *compressor*, *condensor*, katup ekspansi dan evaporator. Untuk mendistribusikan air dingin hasil produksi *chiller* digunakan pompa-pompa distribusi. Pompa – pompa distribusi berfungsi untuk mendistribusikan air pendingin dengan temperatur 6 – 7° C ke beban-beban pendingin.[1]

2.3 Perhitungan Daya Pompa

• Persamaan Energi

Persamaan energi dihasilkan dari penerapan prinsip kekekalan energi pada aliran fluida [2]. Dalam arah aliran, prinsip energi diringkas dengan suatu persamaan umum sebagai berikut: Energi di bagian 1 + Energi yang ditambahkan - Energi yang hilang - Energi yang diambil = Energi di bagian 2.

• Head Total Pompa

Head total pompa harus disediakan untuk mengalirkan jumlah air seperti yang direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi sistem yang akan dilayani pompa.

• Head loss mayor

Head loss mayor disebabkan karena rugi - rugi yang diakibatkan oleh gesekan sepanjang pipa.

$$hL=f L/D V^2/2g \quad (1)$$

Dimana:

- hL = Head loss mayor, m
- f = Faktor gesekan
- L = Panjang pipa, m
- D = Diameter dalam pipa, m
- V = Kecepatan aliran, m/s
- g = Percepatan gravitasi, 9,81 m/s²

• Head loss minor

Head loss minor disebabkan karena rugi - rugi akibat fittings pada sistem perpipaan. Dapat dihitung dengan cara menambahkan nilai koefisien K (koefisien *fitting*) pada sistem perpipaan.

$$h=K V^2/2g \quad (2)$$

Dimana:

- h = Head loss minor, m
- K = Koefisien *fitting*
- V = Kecepatan aliran, m/s
- g = Percepatan gravitasi, 9,81 m/s²

• Head loss total

$$H = hL + hf + Z + hP + hK \quad (3)$$

Dimana:

- hL = Head loss mayor, m
- h = Head loss minor, m

• Bilangan Reynolds

Bilangan *Reynolds* adalah bilangan tak berdimensi, yang menyatakan perbandingan gaya-gaya inersia terhadap gaya-gaya kekentalan (viskositas).

$$Re = \rho VD/\mu = VD/\nu \quad (4)$$

Dimana:

- Re = Bilangan *Reynold*
- V = kecepatan rata-rata, m/s
- D = Diameter dalam pipa, m
- ρ = Rapat massa fluida, kg/m³
- μ = Kekentalan mutlak, Pa/s
- ν = Kekentalan kinematik, m²/s

Aliran fluida yang mengalir dalam pipa dibedakan menjadi tiga jenis :

- a. Aliran Laminar (Re < 2300)
- b. Aliran Turbulen (Re > 4000)
- c. Aliran Transisi (2300 < Re < 4000)

• Faktor Gesekan

Faktor gesekan atau nilai f dapat dicari dengan mempertimbangkan bilangan *Reynolds*.

• Aliran laminar

Jika nilai Re < 2300 maka nilai f dapat dicari dengan rumus berikut.

$$f= 64/Re \quad (5)$$

Dimana:

Re = Bilangan *Reynolds*

• Aliran Turbulen

Jika nilai Re > 4000 maka dilai f harus dicari dengan tabel *Moody diagram*. Untuk bisa membaca *Moody diagram* harus mengetahui nilai Re dan *Relative pipe roughness*. *Relative pipe roughness* dapat dicari dengan rumus.

$$Relative\ pipe\ roughness = E/D \quad (6)$$

Dimana:

- E = Material absolute roughness, mm (dicari pada *tabel Moody diagram*)
- D = Diameter pipa, mm

• Daya Pompa

Daya pompa dihitung dengan mengalikan jumlah N fluida yang mengalir per detik (ρ.g.Q) dengan

energi H dalam J/N. Jadi menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$P_h = \rho \times g \times Q \times H \quad (7)$$

$$P_{in} = (\rho \times g \times Q \times H) / \eta \quad (8)$$

Dimana:

Ph = Daya Hidrolik, kW

Pin = Daya pompa, kW

ρ = Rapat massa fluida, kg/m³

g = Percepatan gravitasi, 9,81 m/s²

Q = Debit aliran fluida yang mengalir, m³/s

H = Head total pompa, m

η = Efisiensi pompa %

- **Hukum Bernoulli**

Persamaan *Benoulli* adalah hubungan antara tekanan, kecepatan dan elevasi/ketinggian.

Persamaan *Bernoulli* dinyatakan seperti berikut:

$$P/\rho g + V^2/2g + Z = \text{Konstan} \quad (9)$$

$$P1/\rho g + [V1]^2/2g + Z_1 - hL + h_{\text{pump}} = P2/\rho g + [V2]^2/2g + Z_2 \quad (10)$$

Dimana:

P1 = Tekanan di titik 1, Pa

P2 = Tekanan di titik 2, Pa

V1 = Kecepatan di titik 1, m/s

V2 = Kecepatan di titik 2, m/s

ρ = Rapat massa fluida, kg/m³

g = Percepatan gravitasi, 9,81 m/s²

Z1 = ketinggian di titik 1, m

Z2 = Ketinggian dititik 2, m

hL = Head total, m

hpump = Head pompa, m

2.4 Penentuan Support

Instalasi perpipaan supaya terjamin dan aman dari kerusakan baik karena pemuaiian maupun berat instalasi pipa sendiri diperlukan penyangga pipa dan tentunya tidak mengabaikan fleksibilitas instalasinya. [3]

$$L = \sqrt{(10 Z S) / W} \quad (11)$$

Dimana :

L = maximum allowable span between support, in (mm)

Z = section modulus, in³ (mm³)

S = allowable weigh stress (table A-1 ASME B31.3)

2.5 Minimum Wallthickness

Perhitungan *thickness* dilakukan untuk mengetahui berapa besar ketebalan pipa yang dibutuhkan agar dapat bekerja sesuai dengan *operating condition*.

$$t = (P D) / (2 (S E W + PY)) \quad (12)$$

Dimana :

t = Minimum Wall Thickness, in

P = Tekanan Desain, psi

D = Diameter Luar Pipa, in

S = Allowable Stress pada Temperatur Desain, psi

E = Quality Factor dari Tabel A-1A atau A-1B

Y = Koefisien (ASME B31.3 Table 304.1.1.)

W = Weld joint strength (ASME B31.3 para. 302.3.5(e))

Sehingga jika *corrosion allowance* dan *mill tolerance* 12,5% ditambahkan, *wall thickness calculation* menjadi :

$$T_m = t / ((1 - mt)) + C \quad (13)$$

Dimana :

tm = minimum required thickness, in

C = corrosion allowance, in

mt = mill tolerance

2.6 Tegangan Ijin (Allowable Stress)

Nilai tegangan ijin yang digunakan sebagai acuan adalah nilai tegangan ijin berdasarkan desain temperatur.

- **Sustained Loads Allowable Stress**

Penjumlahan dari *sustained loads* (*pressure and weigh*) karena tekanan, berat, dan beban lainnya tidak boleh melebihi Sh. Ketika SL dihitung, ketebalan pipa yang digunakan harus tidak termasuk penyisihan untuk korosi, erosi, threads atau groove depth.

$$SL > Sh \quad (14)$$

SL = total sustained loads, psi

Sh = Basic allowable stress, psi (ASME B31.3 Process Piping)

- **Occational Loads Allowable Stress**

Penjumlahan dari beban *occational* karena tekanan, berat, dan beban lainnya yang bersumber dari angin (*wind*) dan getaran akibat proses yang dekat dengan area (*earthquake*) tidak boleh melebihi dari tegangan yang diijinkan.

$$\text{Allowable stress occ loads} = 1,33 \times Sh \quad (15)$$

2.7 Metode Benefit Cost Analysis

Analisis manfaat – biaya biasanya dilakukan dengan melihat rasio antara manfaat dari suatu proyek pada masyarakat umum terhadap ongkos-ongkos yang dikeluarkan[4]. Secara matematis hal ini biasa diformulasikan sebagai berikut :

$$B/C = \text{Manfaat} / \text{Ongkos} \quad (16)$$

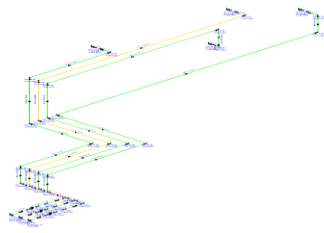
2.8 Software Pipe Flow Expert (PFE)

Pipe flow Expert merupakan salah satu perangkat lunak untuk menggambar sebuah sistem perpipaan dan menganalisis fitur dari sistem ketika terjadi adanya aliran. Perangkat lunak ini juga dapat menghitung kestabilan aliran dan kondisi tekanan pada sistem.[5]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penentuan Kapasitas Optimal

Perhitungan kapasitas *cooling water chiller* bertujuan untuk mengetahui berapa debit yang masih dapat ditampung dalam *cooling water chiller*. Perhitungan memanfaatkan *software Pipe Flow Expert 2013*, dilakukan pula perhitungan secara manual.



Gambar 4. Pemodelan Line Existing

Berikut adalah hasil kalkulasi pemodelan :

Tabel 1. Hasil kalkulasi pemodelan

Pipe Name and Notes	Flow (m ³ /hour)	Pipe Name and Notes	Flow (m ³ /hour)
P9	55	P17	165
P10	55	P22	34,152
P11	55	P30	34,152
P12	55	P36	34,152
P13	55	P39	34,152
P14	110	P43	34,152
P15	148,483	P49	34,152
P16	34,152		

Tabel 2. Hasil kalkulasi manual losses

NO.	SEGMENT	V	e/d	RE	f	HL Mayor	Total K	HL Minor
1	P1	0,0412	0,0002	8463,8	0,032	0,00002	1,630	0,0001
2	P2	0,0491	0,0002	8463,8	0,032	0,00136	6,820	0,0008
3	P3	0,0810	0,0003	8463,8	0,035	0,00002	3,070	0,0010
4	P4	0,0974	0,0004	8463,8	0,037	0,00003	0,480	0,0002
Head Masing - masing						0,0014		0,0022
Head Total							0,0037	

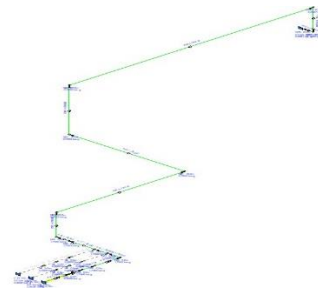
Tabel 3. Hasil kalkulasi daya pompa

Given	Value	Unit	Remark
P1	0	kPa	
P2	4300	kPa	
v1	0	m/s	
v2	0,0491	m/s	
Rho	1000	kg/m ³	
G	9,81	m/s ²	
Z1	0	m	
Z2	16,200	m	
HL	0,0037	m	
Hp	16,6445	m	
Ph	8009,2995	W	
	8,0093	kW	
Pin	11124,0271	W	
	11,1240	kW	

Kapasitas desain dari *cooling cater chiller* adalah 97,55 m³/hr. Setelah divalidasi dengan data lapangan, debit yang diperlukan untuk memenuhi kapasitas *cooling water chiller* dengan mengganti pompa adalah 78,04 m³/hr. sedangkan untuk jalur pipa baru adalah 42,64 m³/hr.

3.2 Perhitungan Daya Pompa Required Capacity (QR)

Pada pipa *existing* yang akan diganti pompanya, pemodelan dan perhitungan dengan *software* juga perlu dilakukan, pemodelan dilakukan untuk mendapatkan gambaran dari daya pompa yang akan digunakan.



Gambar 5. Pemodelan Line Existing (QR)

Dari kalkulasi perhitungan oleh *software* diatas, didapatkan *headpump* sebesar 17,72 m.

Tabel 4. Hasil kalkulasi manual losses (QR)

NO.	SEGMENT	V	e/d	RE	f	HL Mayor	Total K	HL Minor
1	P1	0,0910	0,0002	18715,3	0,027	0,0001	1,630	0,0007
2	P2	0,1085	0,0002	18715,3	0,027	0,0056	6,820	0,0041
3	P3	0,1792	0,0003	18715,3	0,031	0,0001	3,070	0,0050
4	P4	0,2153	0,0004	18715,3	0,033	0,0001	0,480	0,0011
Head Masing - masing						0,0059		0,0109
Head Total							0,0168	

Tabel 5. Hasil kalkulasi daya pompa (QR)

Symbol	Value	Unit
Hp	17,7514	m
Ph	18888,1767	W
	18,8882	kW
Pin	26233,5788	W
	26,2336	kW

3.3 Desain Additional Line (1)

- *Maximum allowable span spacing*

$$L = \sqrt{((10 z S)/W)}$$

$$= 18,319 \text{ m}$$

Total support used

$$= (\text{maximum allowable span spacing})/(\text{total length})$$

$$= 4,209 \text{ (unit) } = 5 \text{ unit}$$

- *Sustained Loads Additional Line Design 1*

- *Sustained Load – weight (SW)*

$$\text{Force on Support (FW)}$$

$$FW = WL/2$$

$$= (9,30 * 3083,89)/2$$

$$= 14340,089 \text{ lb}$$

$$Am = (\pi (Do^2 - Di^2))/4$$

$$= 11,092 \text{ inch}^2$$

$$FW/AM = 1292,83 \text{ psi}$$

- *Sustained Load – pressure (SP)*

$$\text{Force on Support (FP)}$$

$$FP = (PxDo^2)/4$$

$$= 6285,357 \text{ lb}$$

$$FW/AM = 566.66 \text{ psi}$$

$$\text{Total S} = Sw + SP$$

$$= 1292.83 + 566.66 = 1859,49 \text{ psi}$$

Allowable stress yang terjadi pada *sustained load* dibawah batas ijin yang ditentukan yaitu $Tsus < Ssus = 1859.49 \text{ psi} < 16700 \text{ psi}$.

- *Occasional Loads – wind (F) Additional Line Design 1*

- *Dynamic Pressure*

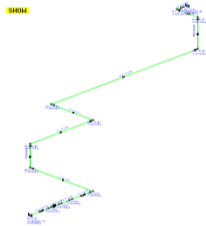
$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 = \frac{1}{2} \times 5,952 \times 70,212 = 14670,026 \text{ lb/ft}^2 = 101,875 \text{ psi}$$

Occasional Loads – wind

$$FO = \frac{Cd D q}{386,4} = 6285,357 \text{ lb}$$

Allowable stress yang terjadi pada occasional load dibawah batas ijin yang ditentukan yaitu 101,875 psi < 22211 psi.

Pemodelan PFE



Gambar 6. Pemodelan additional line (1)

Dari kalkulasi perhitungan oleh software diatas, didapatkan headpump sebesar 17,120 m.

Perhitungan Manual

Berikut adalah perhitungan manual kerugian dan daya pompa desain additional line (1) :

Tabel 6. Hasil kalkulasi daya pompa (QR)

Symbol	Value	Unit
HL	0,0194	m
Hp	17,7486	m
Ph	10457,8842	W
	10,4579	kW
Pin	14524,8392	W
	14,5248	kW

3.4 Desain Additional Line (2)

Maximum allowable span spacing

$$L = \sqrt{(10 z S)/W} = 18,319 \text{ m}$$

Total support used

$$= (\text{maximum allowable span spacing})/(\text{total length}) = 4,904 \text{ (unit)} = 5 \text{ unit}$$

Sustained Loads Additional Line Design 2

Sustained Load – weight (SW)

$$\text{Force on Support (FW)} = WL/2 = 16708,512 \text{ lb}$$

$$Am = (\pi (Do^2 - Di^2))/4 = 11,092 \text{ inch}^2$$

$$FW/AM = 2073,014 \text{ psi}$$

Sustained Load – pressure (SP)

$$\text{Force on Support (FP)} = (PxDo^2)/4 = 6285,357 \text{ lb}$$

$$FW/AM = 566.66 \text{ psi}$$

$$\text{Total S} = Sw + SP = 2073,014 + 566.66 = 2639,674 \text{ psi}$$

Allowable stress yang terjadi pada sustained load dibawah batas ijin yang ditentukan yaitu $Tsus < Ssus = 2639,674 \text{ psi} < 16700 \text{ psi}$.

Occasional Loads – wind (F) Additional Line Design 2

Dynamic Pressure

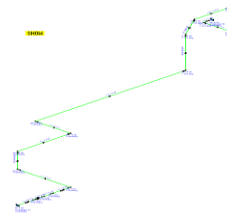
$$q = \frac{1}{2} \rho v^2 = 14670,026 \text{ lb/ft}^2 = 101,875 \text{ psi}$$

Occasional Loads – wind

$$FO = \frac{Cd D q}{386,4} = 6285,357 \text{ lb}$$

Allowable stress yang terjadi pada occasional load dibawah batas ijin yang ditentukan yaitu 101,875 psi < 22211 psi.

Pemodelan PFE



Gambar 7. Pemodelan additional line (2)

Dari kalkulasi perhitungan oleh software diatas, didapatkan headpump sebesar 17,126 m.

Perhitungan Manual

Berikut adalah perhitungan manual kerugian dan daya pompa desain additional line (2) :

Tabel 7. Hasil kalkulasi daya pompa (QR)

Symbol	Value	Unit
HL	0,0235	m
Hp	16,2385	m
Ph	9568,1047	W
	9,5681	kW
Pin	13289,0343	W
	13,2890	kW

3.5 Perhitungan dan Analisis Rencana Anggaran Biaya

Untuk mengetahui alternatif mana yang paling efektif untuk digunakan, variabel perbandingan yang akan digunakan ialah biaya.

Perhitungan Biaya Pompa Pengganti

Pada alternatif pertama dibutuhkan daya pompa yang dibutuhkan untuk memenuhi kapasitas cooling water chiller adalah sebesar 26,2336 kW dengan Headpump sebesar 17,7515 m. Total biaya yang harus dikeluarkan adalah sebesar Rp.133.922.448.

Perhitungan Biaya Additional line

Setelah dibuat desain additional line dengan alternatif desain satu dan dua, serta detail drawing-nya. Akan dapat diketahui berapa total panjang pipa dan jenis fitting yang diperlukan untuk membuat instalasi sistem perpipaan. Rencana anggaran biaya additional line design 1 adalah Rp. 382.470.614 dan Rencana anggaran

biaya *additional line design 2* adalah Rp.393.294.149.

3.6 Benefit Cost Analysis

- Penggantian Pompa

B = Rp.5.335.000.000.000

C = Rp.4.532.000.000.000

B/C = Rp.5.335.000.000.000/
Rp.4.532.000.000.000
= 1,77

B/C>1 maka rekomendasi tersebut dapat dijadikan pertimbangan oleh perusahaan.

- *Additional Line Design 1*

B = Rp. 2.851.000.000

C = Rp. 15.041.000.000

B/C = Rp. 2.851.000.000/ Rp.
15.041.000.000
= 0,0189

B/C<1 maka rekomendasi tersebut tidak dapat dijadikan pertimbangan oleh perusahaan.

- *Additional Line Design 2*

B = Rp. 2.851.000.000

C = Rp. 15.467.000.000

B/C = Rp. 2.851.000.000/ Rp.
15.467.000.000
= 0,184

B/C<1 maka rekomendasi tersebut tidak dapat dijadikan pertimbangan oleh perusahaan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Kapasitas yang harus terpenuhi pada *cooling water chiller* secara keseluruhan adalah 78,04 m³/hr. Sedangkan, kapasitas sisa yang harus dipenuhi pada alternatif desain *additional line tie-in* adalah sebesar 42,64 m³/hr
2. Daya pompa pengganti yang mampu memenuhi kapasitas *cooling water chiller* adalah 26,236 kW dengan *headpump* 17,751 m. Daya pompa yang diperlukan untuk alternatif desain *additional line tie-in design 1* adalah sebesar 14,524 kW dengan *headpump* 17,748 m sedangkan untuk alternatif desain *additional line tie-in design 2* adalah sebesar 13,289 kW dengan *headpump* 16,238 m
3. Menurut *ASME B31.3 Proses Piping* berdasarkan material *SS304* dan temperatur desainnya, *allowable stresses sustained loads* adalah sebesar 16.700 psi dan *allowable stresses occasional – wind* adalah sebesar 22.211 psi. *Design additional line tie-in 1* memiliki *sustained loads* sebesar 227,361 psi dan *occasional – wind* sebesar 101,875 psi. *Design additional line tie-in 2* memiliki *sustained loads* sebesar 153,469 psi dan *occasional – wind* sebesar 101,875 psi. Kedua desain tersebut telah memenuhi *standart ASME B31.3 Proses Piping* karena tegangan pada keduanya memiliki nilai yang tidak melebihi *allowable stresses*

4. Pada alternatif pompa pengganti biaya yang harus dikeluarkan ialah sebesar Rp.133.922.448. Sedangkan pada *additional line desain (1)* ialah sebesar Rp. 382.470.614, pada *additional line design (2)* ialah sebesar Rp. 393.294.149. Alternatif terbaik dan dapat direkomendasikan yang dapat dipilih dengan analisa *benefit cost* untuk pemenuhan kapasitas *cooling water chiller* ialah mengganti pompa tanpa menambah jalur pipa baru.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan lancar dan tepat waktu.
2. Kedua orang tua yang telah memberikan begitu banyak nasehat hidup, kasih sayang, doa, dukungan moril serta materil, dan segalanya bagi penulis.
3. Bapak Ir. Eko Julianto, M.Sc, F.RINA selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Muhammad Shah, S.T., M.T selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal tugas akhir.
5. Bapak R. Dimas Endro W., S.T., M.T, selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama penyelesaian jurnal tugas akhir.
6. Seluruh staf pengajar Program Studi Teknik Perpipaan yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis selama masa perkuliahan.
7. Mahasiswa Teknik Perpipaan 2015 yang selalu mendukung dan membantu pengerjaan Tugas Akhir.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

7. PUSTAKA

- [1] Arisanto, B. (2012). Pengoperasian Chilled Water System Pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif. *Hasil Penelitian Dan Kegiatan PTLR Tahun 2012 ISSN 0852-2979, 775–782.*
- [2] Liu, H. (2003). *Pipeline Engineering*. Boca Raton London New York Washington, D.C.
- [3] Smith, P. R., & Laan, T. J. Van. (1987). *Piping and Pipe Support Systems*.
- [4] Pujawan, I. N. (2009). *Ekonomi Teknik* (2nd ed.). Jakarta: Guna Widya.
- [5] Daxesoft Ltd. (2016). *Pipe Flow Expert User Guide*.