

Perencanaan Jalur Pipa dan Perhitungan Daya Pompa untuk Bahan Kimia Cair *Diocetyl Phthalate* (DOP) di PT. X Gresik

Budi Darwin Kurnia Irawan ¹⁾, Gerald Adityo Pohan ²⁾

^{1,2)}Teknik Mesin S1, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo KM.2 Malang
Email : darwin4498@gmail.com

Abstrak. *Diocetyl phthalate* (DOP) merupakan cairan kimia yang digunakan sebagai pembantu dalam industri bahan-bahan plastic (*plasticizer*). Karena meningkatnya kebutuhan *diocetyl phthalate* di PT.X yang terletak di Gresik, maka dari itu dibutuhkan tangki penampung T-02/DOP tambahan dalam proses produksi. Pada penelitian ini dilakukan perencanaan jalur pipa baru dari plant DOP ke tangki penampung tambahan T-02/DOP. Data yang didapat dari perencanaan ini adalah hasil wawancara dan survey lapangan di PT.X. Dari data yang didapat, perencanaan ini meliputi pemilihan jenis pipa, diameter pipa, ketebalan, penyangga pipa, valve, fitting dan menghitung kerugian gesek yang sesuai dengan daya pompa yang dihasilkan. Hasil yang didapat dalam perencanaan jalur pipa dari unit proses T-02/DOP dapat menggunakan pompa eksisting (P-211). Jalur pipa dari unit proses ke T-02/DOP dapat menggunakan pipa tekan dengan ukuran 2 inci schedule 10. Jalur pipa dari T-02/DOP ke truck loading bay dapat menggunakan pipa hisap 4 inci schedule 10 dan pipa ukuran 3 inci schedule 10. Jalur pipa dari T-02/DOP ke truck loading bay menggunakan pompa baru (P-301) dengan Head 45,36 m, efisiensi 65% dan daya poros pompa adalah 9,52 kW.

Katakunci: DOP, perencanaan pipa, daya pompa, head loss .

1. Pendahuluan

Diocetyl phthalate (DOP) secara fisik berwujud cairan kental tidak berwarna sampai kuning terang. *Diocetyl phthalate* dengan rumus molekul $C_{24}H_{38}O_4$ memiliki berat molekul 390,564 g/mol. *Diocetyl phthalate* larut dalam etanol, aseton, dietil ester dan hidrokarbon aromatik. *Diocetyl phthalate* tidak larut dalam air dingin dan dapat bercampur dengan minyak mineral dan heksana. Kelarutan *diocetyl phthalate* dalam air 0,3 mg/L pada suhu 25°C (SNI,1987).

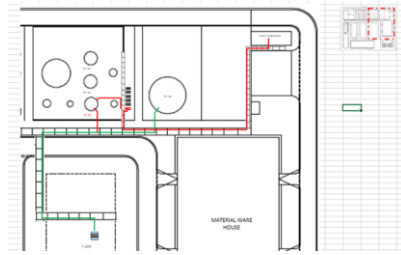
Perkembangan industri pada saat ini cukup pesat terutama subsektor industri kimia, disebabkan kebutuhan bahan kimia dan barang hasil industri kimia terus meningkat. Salah satu industri kimia terpenting adalah pembuatan cairan *diocetyl phthalate*. Di bidang industry, penggunaan *diocetyl phthalate* cukup luas yaitu sebagai pembantu dalam industri bahan-bahan plastik (*plasticizer*) dan juga digunakan dalam industri kulit imitasi, kabel, sol sepatu dan lain sebagainya. Selain itu *diocetyl phthalate* sebagai *plasticizer* juga digunakan untuk berbagai resin dan elastomer. *Diocetyl phthalate* dapat digunakan sebagai cairan dielektrik dan juga dapat digunakan sebagai komponen dalam bahan kemasan makanan. [1].

Salah satu industri kimia yang memproduksi *diocetyl phthalate* adalah PT.X yang terletak di Gresik, Jawa Timur, Indonesia. Saat ini unit *plasticizer* di PT.X memiliki kapasitas produksi 90 MT/day, sebagian besar adalah untuk keperluan ekspor. Dengan adanya diversifikasi customer, terutama meningkatnya permintaan customer regional, maka unit produksi *plasticizer* di PT.X memerlukan tambahan tempat penampungan produk *diocetyl phthalate* dan fasilitas pengisian (*loading*) ke *isotank*. Untuk memfasilitasi keperluan tersebut maka unit *plasticizer* memerlukan perubahan yaitu tambahan tangki penampung produk DOP guna keperluan penjualan regional, penambahan jalur pipa menuju tangki penampung, dan penambahan jalur pipa dan pompa dari tangki ke *truck loading bay*.

2. Pembahasan

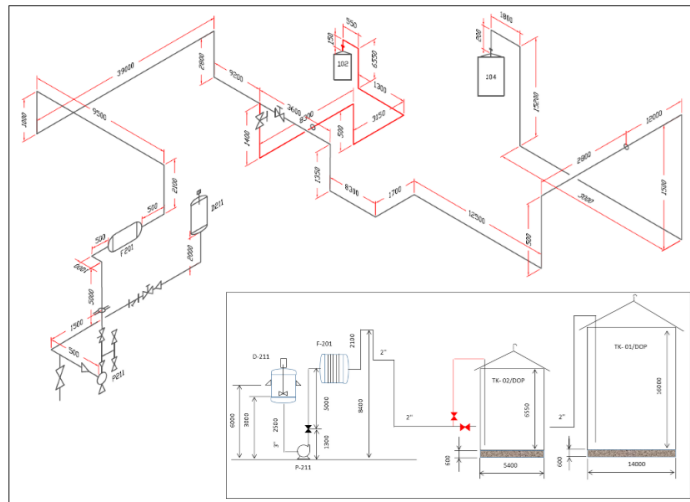
2.1 Menentukan Jalur Pipa dan Panjang Pipa

Jalur pipa dapat digambarkan seperti gambar 1.

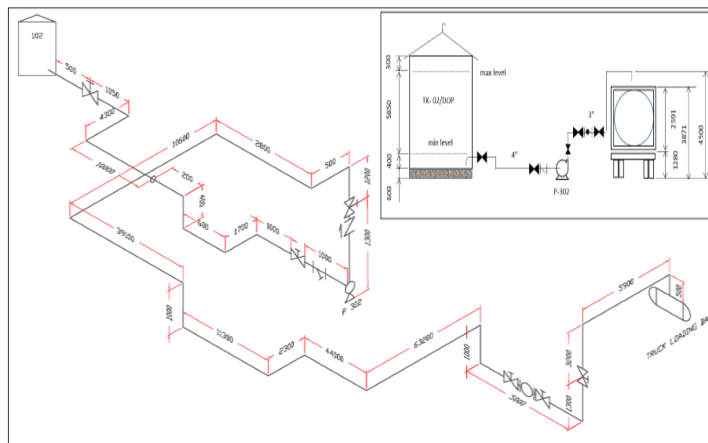


Gambar 1. Jalur Pipa Pandangan Atas (*Plan View*)^[1]

Untuk menentukan jumlah panjang pipa, *fittings* dan *valve* maka dibuat gambar isometric jalur pipa dari unit produksi DOP ke tangki T02/DOP, gambar 3 dan jalur pipa dari tangki T-02/DOP ke *truck loading bay*, gambar 2.



Gambar 2. Isometric Jalur Pipa dari Unit Produksi ke T-02/DOP^[2]



Gambar 3. Isometric Jalur Pipa dari T-02/DOP ke *Truck Loading Bay*^[3]

Dari pengukuran di lapangan ditemukan data perpipaan sebagai berikut:

Tabel 1. Tabel Jumlah Material*

Lokasi	Panjang Pipa (m)	Elbow 90° (biji)	Valve (biji)	Strainer (biji)	Non Return Valve (biji)	Flow Meter (biji)
Sisi Hisap P-202	4,5	2	1	1	0	0
Sisi Tekan P-202 ke T-02/DOP	93,3	16	2	0	1	0
Sisi Hisap P-301	20,75	6	2	1	0	0
Sisi Tekan P-301	194,4	14	4	0	1	1

2.2 Menentukan Diameter Pipa dan Ketebalan Pipa

Untuk menghitung diameter dan ketebalan pipa harus diketahui debit pompa dan tekanan pompa. Untuk jalur dari unit produksi ke tangki T-02/DOP menggunakan pompa eksisting (P-211) yang mana debit dan tekanan pompanya sudah tersedia. Untuk jalur pipa dari T-02/DOP menggunakan pompa baru (P-302). Pengisian produk DOP ke isotank diminta 20.000 liter dalam waktu 30 menit (40.000 liter/h). Dengan memberikan allowance debit 25% maka debit P-302 yang dipakai untuk perencanaan ini adalah 50.000 liter/h (50 m³/h).

Berikut data pompa:

- P-211 : debit 25 m³/h (0,00694 m³/s), Head 31,42 m, daya : 3,5 Kw
- P-302 : debit 50 m³/h (0,0139 m³/s), tekanan dan daya pompa : dihitung dalam perencanaan ini

2.3 Menentukan Diameter Pipa Sisi Hisap Pompa P-211 dan P-302

Kecepatan (V) pada pipa sisi hisap pompa disarankan adalah 0,9 – 2,4 m/s untuk menghindari kebisingan dan kerusakan pada pipa dan *fitting*. [2]

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi d^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$d = \left(\frac{4Q}{\pi V} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

d = Diameter Pipa (m), Q = Debit Pompa (m³/s), V = Kecepatan Aliran (m/s)

Sehingga:

Diameter dalam (d) pipa hisap P-211 dihitung:

Untuk kecepatan (V) 0,9 m/s maka:

$$d = \left(\frac{4 \times 0,00694}{3,14 \times 0,9} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,0991 \text{ m} = 99 \text{ mm} \dots\dots\dots(3)$$

Untuk Kecepatan (V) 2,4 m/s maka:

$$d = \left(\frac{4 \times 0,00694}{3,14 \times 2,4} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,060 \text{ m} = 60 \text{ mm} \dots\dots\dots(4)$$

Jadi diameter dalam (d) P-211 yang diperbolehkan adalah 60 mm – 99 mm.

Diameter dalam (d) pipa hisap P-301 dihitung:

Untuk Kecepatan (V) 0,9 m/s maka:

$$d = \left(\frac{4 \times 0,0139}{3,14 \times 0,9} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,140 \text{ m} = 140 \text{ mm} \dots \dots \dots (5)$$

Untuk Kecepatan (V) 2,4 m/s maka:

$$d = \left(\frac{4 \times 0,0139}{3,14 \times 2,4} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,086 \text{ m} = 86 \text{ mm} \dots \dots \dots (6)$$

Jadi diameter dalam (d) P-302 yang diperbolehkan adalah 86 mm – 140 mm

Nominal Size		OD		Wall Thickness															
				Sched 5		Sched 10		Sched 20		Sched 30		STD (Standard)		Sched 40		Sched 60		Sched 80	
A	B	t	ID	t	ID	t	ID	t	ID	t	ID	t	ID	t	ID	t	ID	t	ID
6	1/8	10.3	xx	xx	1.24	7.82	xx	xx	1.45	7.4	1.73	6.84	1.73	6.84	xx	xx	2.41	5.48	
8	1/4	13.7	xx	xx	1.65	10.4	xx	xx	1.85	10	2.24	9.22	2.24	9.22	xx	xx	3.02	7.66	
10	3/8	17.1	xx	xx	1.65	13.8	xx	xx	1.85	13.4	2.31	12.48	2.31	12.48	xx	xx	3.2	10.7	
15	1/2	21.3	1.65	18	2.11	17.08	xx	xx	2.41	16.48	2.77	15.76	2.77	15.76	xx	xx	3.73	13.84	
20	3/4	26.7	1.65	23.4	2.11	22.48	xx	xx	2.41	21.88	2.87	20.96	2.87	20.96	xx	xx	3.91	18.88	
25	1	33.4	1.65	30.1	2.77	27.86	xx	xx	2.9	27.6	3.38	26.64	3.38	26.64	xx	xx	4.55	24.3	
32	1 1/4	42.2	1.65	38.9	2.77	36.66	xx	xx	2.91	36.38	3.56	35.08	3.56	35.08	xx	xx	4.85	32.5	
40	1 1/2	48.3	1.65	45	2.77	42.76	xx	xx	3.18	41.94	3.68	40.94	3.68	40.94	xx	xx	5.08	38.14	
50	2	60.3	1.65	57	2.77	54.76	xx	xx	3.18	53.94	3.91	52.48	3.91	52.48	xx	xx	5.54	49.22	
65	2 1/2	73	2.11	68.78	3.05	66.9	xx	xx	4.78	63.44	5.16	62.68	5.16	62.68	xx	xx	7.01	58.98	
80	3	88.9	2.11	84.68	3.05	82.8	xx	xx	4.78	79.34	5.49	77.92	5.49	77.92	xx	xx	7.62	73.66	
90	3 1/2	101.6	2.11	97.38	3.05	95.5	xx	xx	4.78	92.04	5.74	90.12	5.74	90.12	xx	xx	8.08	85.44	
100	4	114.3	2.11	110.08	3.05	108.2	xx	xx	4.78	104.74	6.02	102.26	6.02	102.26	xx	xx	8.56	97.18	
125	5	141.3	2.77	135.76	3.4	134.5	xx	xx	xx	xx	6.55	128.2	6.55	128.2	xx	xx	9.53	122.24	
150	6	168.3	2.77	162.76	3.4	161.5	xx	xx	xx	xx	7.11	154.08	7.11	154.08	xx	xx	10.97	146.36	
200	8	219.1	2.77	213.56	3.76	211.58	6.35	206.4	7.04	205.02	8.18	202.74	8.18	202.74	10.31	198.48	12.7	193.7	
250	10	273.1	3.4	266.3	4.19	264.72	6.35	260.4	7.8	257.5	9.27	254.96	9.27	254.96	12.7	247.7	15.09	242.92	
300	12	323.9	3.96	315.98	4.57	314.76	6.35	311.2	8.38	307.14	9.53	304.84	10.31	303.28	14.27	295.36	17.48	288.94	
350	14	355.6	3.96	347.68	6.35	342.9	7.92	339.76	9.53	336.54	9.53	336.54	11.13	333.34	15.09	325.42	19.05	317.5	
400	16	406.4	4.19	398.02	6.35	393.7	7.92	390.56	9.53	387.34	9.53	387.34	12.7	381	16.66	373.08	21.44	365.52	
450	18	457.2	4.19	448.82	6.35	444.5	7.92	441.36	11.13	434.94	9.53	438.14	14.27	428.66	19.05	419.1	23.83	409.54	
500	20	508	4.78	498.44	6.35	495.3	9.53	488.94	12.7	482.6	9.53	488.94	15.09	477.82	20.62	466.76	26.19	455.62	
550	22	559	4.78	549.44	6.35	546.3	9.53	539.94	12.7	533.6	9.53	539.94	xx	xx	22.23	514.54	28.58	501.84	
600	24	610	5.54	598.92	6.35	597.3	9.53	590.94	14.27	581.46	9.53	590.94	17.48	575.04	24.61	560.78	30.96	548.08	

Gambar 4. Tabel Pipa Baja ASME B36^[4]

Pipa hisap P-211 adalah 3” sch. 10, diameter dalam 82,8 mm (0,0828 m), sama dengan pipa eksisting yaitu 3” sch 10.

Pipa hisap P-301 adalah 4” sch. 10, diameter dalam 108,2 mm (0,1082 m)

2.4 Menentukan Diameter Dalam Pipa Sisi Tekan Pompa P-211 dan P-302

Kecepatan (V) pada sisi tekan pompa disarankan adalah 1,5 m/s – 3 m/s untuk menghindari kebisingan dan kerusakan pada pipa dan fitting.[2]

Diameter Dalam (d) Pipa Sisi Tekan P-211 dihitung:

Untuk Kecepatan (V) 1,5 m/s maka:

$$d = \left(\frac{4 \times 0,00694}{3,14 \times 1,5} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,077 \text{ m} = 77 \text{ mm} \dots \dots \dots (7)$$

Untuk Kecepatan (V) 3 m/s maka:

$$d = \left(\frac{4 \times 0,00694}{3,14 \times 3} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,054 \text{ m} = 54 \text{ mm} \dots \dots \dots (8)$$

Jadi diameter dalam (d) P-302 yang diperbolehkan adalah 54 mm – 77 mm

Diameter Dalam (d) Pipa Sisi Tekan P-302 dihitung:

Untuk Kecepatan (V) 1,5 m/s maka:

$$d = \left(\frac{4x0,0139}{3,14x1,5} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,108 \text{ m} = 108 \text{ mm} \dots \dots \dots (9)$$

Untuk Kecepatan (V) 3 m/s maka:

$$d = \left(\frac{4x0,0139}{3,14x3} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,077 \text{ m} = 77 \text{ mm} \dots \dots \dots (10)$$

Jadi diameter dalam (d) yang diperbolehkan adalah 77 mm – 108 mm.

Dalam perhitungan diatas diameter dalam pipa sudah dapat ditentukan, selanjutnya dipilih ukuran pipa yang sesuai dengan able pipa seperti pada Gambar 5.

Nominal Size		OO	Wall Thickness															
A	B	mm	Sched 5		Sched 10		Sched 20		Sched 30		STD (Standard)		Sched 40		Sched 60		Sched 80	
t	ID	t	ID	t	ID	t	ID	t	ID	t	ID	t	ID	t	ID	t	ID	
6	1/8	10.3	xx	xx	1.24	7.82	xx	xx	1.45	7.4	1.73	6.84	1.73	6.84	xx	xx	2.41	5.48
8	1/4	13.7	xx	xx	1.65	10.4	xx	xx	1.85	10	2.24	9.22	2.24	9.22	xx	xx	3.02	7.66
10	3/8	17.1	xx	xx	1.65	13.8	xx	xx	1.85	13.4	2.31	12.48	2.31	12.48	xx	xx	3.2	10.7
15	1/2	21.3	1.65	18	2.11	17.08	xx	xx	2.41	16.48	2.77	15.76	2.77	15.76	xx	xx	3.73	13.84
20	3/4	26.7	1.65	23.4	2.11	22.48	xx	xx	2.41	21.88	2.87	20.96	2.87	20.96	xx	xx	3.91	18.88
25	1	33.4	1.65	30.1	2.77	27.86	xx	xx	2.9	27.6	3.38	26.64	3.38	26.64	xx	xx	4.55	32.5
32	1 1/4	42.2	1.65	38.9	2.77	36.66	xx	xx	2.91	36.38	3.56	35.08	3.56	35.08	xx	xx	4.85	32.5
40	1 1/2	48.3	1.65	45	2.77	42.76	xx	xx	3.18	41.94	3.68	40.94	3.68	40.94	xx	xx	5.08	38.14
50	2	60.3	1.65	57	2.77	54.76	xx	xx	3.18	53.94	3.91	52.48	3.91	52.48	xx	xx	5.54	49.22
65	2 1/2	73	2.11	68.78	3.05	66.9	xx	xx	4.78	63.44	5.16	62.68	5.16	62.68	xx	xx	7.01	58.98
80	3	88.9	2.11	84.68	3.05	82.8	xx	xx	4.78	79.34	5.49	77.92	5.49	77.92	xx	xx	7.62	73.66
90	3 1/2	101.6	2.11	97.38	3.05	95.5	xx	xx	4.78	92.04	5.74	90.12	5.74	90.12	xx	xx	8.08	85.44
100	4	114.3	2.11	110.08	3.05	108.2	xx	xx	4.78	104.74	6.02	102.26	6.02	102.26	xx	xx	8.56	97.18
125	5	141.3	2.77	135.76	3.4	134.5	xx	xx	xx	xx	6.55	128.2	6.55	128.2	xx	xx	9.53	122.24
150	6	168.3	2.77	162.76	3.4	161.5	xx	xx	xx	xx	7.11	154.08	7.11	154.08	xx	xx	10.97	146.36
200	8	219.1	2.77	213.56	3.76	211.58	6.35	206.4	7.04	205.02	8.18	202.74	8.18	202.74	10.31	198.48	12.7	193.7
250	10	273.1	3.4	266.3	4.19	264.72	6.35	260.4	7.8	257.5	9.27	254.56	9.27	254.56	12.7	247.7	15.09	242.92
300	12	323.9	3.96	315.98	4.57	314.76	6.35	311.2	8.38	307.14	9.53	304.84	10.31	303.28	14.27	295.36	17.48	288.94
350	14	355.6	3.96	347.68	6.35	342.9	7.92	339.76	9.53	336.54	9.53	336.54	11.13	333.34	15.09	325.42	19.05	317.5
400	16	406.4	4.19	398.02	6.35	393.7	7.92	390.56	9.53	387.34	9.53	387.34	12.7	381	16.66	373.08	21.44	363.52
450	18	457.2	4.19	448.82	6.35	444.5	7.92	441.36	11.13	434.94	9.53	438.14	14.27	428.66	19.05	419.1	23.83	409.54
500	20	508	4.78	498.44	6.35	495.3	9.53	488.94	12.7	482.6	9.53	488.94	15.09	477.82	20.62	466.76	26.19	455.62
550	22	559	4.78	549.44	6.35	546.3	9.53	539.94	12.7	533.6	9.53	539.94	xx	xx	22.23	514.54	28.58	501.84
600	24	610	5.54	598.92	6.35	597.3	9.53	590.94	14.27	581.46	9.53	590.94	17.48	575.04	24.61	560.78	30.96	548.08

Gambar 5. Tabel Pipa Baja ASME B36^[5]

Dari perhitungan dan Gambar 5. Juga pertimbangan pipa eksisting dan ketersediaan pipa material di pasar maka dipilih schedule pipa yang paling umum dengan ketebalan yang sesuai sebagai berikut:

Ukuran pipa tekan juga dapat ditentukan dengan menggunakan Gambar 5. Maka dipilih:

- Pipa tekan P-211 adalah 2” sch. 10, diameter dalam 54,76 mm (0,05476 m), sama dengan ukuran pipa eksisting yaitu 2” sch. 10
- Pipa tekan P-301 adalah 3” sch. 10, diameter dalam 82,8 mm (0,0828 m)

2.5 Menentukan Ketebalan Pipa Minimum TM Sisi Hisap dan Sisi Tekan P-211 dan P-302

Perhitungan ketebalan pipa minimum TM menggunakan tekanan kerja yang paling tinggi di jalur pipa yang direncanakan. Dalam jalur pipa tekanan kerja sisi tekan lebih tinggi dari sisi hisapnya, maka tekanan yang dipergunakan untuk perencanaan ini adalah tekanan sisi tekan.

Ketebalan minimum pipa TM dapat dihitung dengan persamaan berikut:[3]

$$t_m = \frac{pD_0}{2(SE + pY)} + C \dots \dots \dots (11)$$

Dimana:

t_m = Tebal Minimum (inci), p = Tekanan Internal (psi), D₀ = Diameter Luar Pipa (inci), S = Harga Allowable Stress Material, E = Faktor Kualitas Pengelasan, Y = Koefisien dari Gambar 8. Tabel 304.1.1, untuk harga t<D/6, C = Penambahan Ketebalan Pipa karena perkerjaan mekanik, erosi dan korosi adalah 1 mm (0,04 inci).

Harga Koefisien (Y) dapat dilihat dari Gambar 6. [3]

TABLE 304.1.1
 VALUES OF COEFFICIENT Y
 FOR $t < D/6$

Materials	Temperature, °C (°F)				
	≤ 482 (900 & Lower)	510 (950)	538 (1000)	566 (1050)	593 (1100) & Up
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
Other ductile metals	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Cast Iron	0.0

Gambar 6. Tabel 304.1.1 Harga Koefisien Y^[6]

Perencanaan ini menggunakan material stainless steel type 304L dengan pertimbangan agar kebersihan produk DOP terjaga dengan baik. Harga allowable stress (S) material dapat diketahui dari Gambar 7.[3].

TABLE A-1 (CONT'D)
 BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS¹
 Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated

Material	Spec. No.	P-No. or S-No. (5)	Grade	Notes	Min. Temp., °F (6)	Specified Min. Strength, ksi		Basic Allowable Stress S, ksi (1), at Metal Temperature, °F (7)					
						Tensile	Yield	to 100	200	300	400	500	600
Stainless Steel (3) (4) Pipes and Tubes (2)													
18Cr-10Ni-Ti pipe smis > 3/8 in. thick	A 312	B	TP321	(30)(36)	-425	70	25	16.7	16.7	16.7	16.1	15.2	
18Cr-10Ni-Ti pipe > 3/8 in. thick	A 376												
18Cr-8Ni tube	A 269	B	TP304L	(14)(36)	-425	70	25	16.7	16.7	16.7	15.8	14.8	14.0
18Cr-8Ni pipe	A 312	B	TP304L	...	-425								
Type 304L A 240	A 358	B	304L	(36)	-425								
16Cr-12Ni-2Mo tube	A 269	B	TP316L	(14)(36)	-425	70	25	16.7	16.7	16.7	15.5	14.4	13.5
16Cr-12Ni-2Mo pipe	A 312	B	TP316L	...	-425								
Type 316L A 240	A 358	B	316L	(36)	-425								

Gambar 7. Tabel Harga Allowable Stress Material (S)^[7]

Faktor kualitas pengelasan E dapat diketahui dari Gambar 8. (ASME B31.1, Process Piping Design, 2002). Faktor kualitas pengelasan diambil harga 0,9 karena saat pekerjaan pengelasan tidak dilakukan radiografi (X-ray) 100%, mengingat tekanan kerja jalur pipa tidak terlalu tinggi dan untuk mengurangi biaya konstruksi. Material pipa yang dipilih juga tidak diperlukan spesifikasi radiografi (X-ray) 100% dengan mempertimbangkan harga yang lebih ekonomis.

ASME B31.3-2002 Table A-1B

TABLE A-1B BASIC QUALITY FACTORS FOR LONGITUDINAL WELD JOINTS IN PIPES, TUBES, AND FITTINGS E_f These quality factors are determined in accordance with para. 302.3.4(a). See also para. 302.3.4(b) and Table 302.3.4 for increased quality factors applicable in special cases. Specifications, except API, are ASTM.				
Spec. No.	Class (or Type)	Description	E_f (2)	Appendix A Notes
Stainless Steel				
A 182	...	Forgings and fittings	1.00	...
A 268	...	Seamless tube	1.00	...
...	...	Electric fusion welded tube, double butt seam	0.85	...
...	...	Electric fusion welded tube, single butt seam	0.80	...
A 269	...	Seamless tube	1.00	...
...	...	Electric fusion welded tube, double butt seam	0.85	...
...	...	Electric fusion welded tube, single butt seam	0.80	...
A 312	...	Seamless tube	1.00	...
...	...	Electric fusion welded tube, double butt seam	0.85	...
...	...	Electric fusion welded tube, single butt seam	0.80	...
A 358	1, 3, 4	Electric fusion welded pipe, 100% radiographed	1.00	...
...	5	Electric fusion welded pipe, spot radiographed	0.90	...
...	2	Electric fusion welded pipe, double butt seam	0.85	...
A 376	...	Seamless pipe	1.00	...
A 403	...	Seamless fittings	1.00	...
...	...	Welded fitting, 100% radiographed	1.00	(16)
...	...	Welded fitting, double butt seam	0.85	...
...	...	Welded fitting, single butt seam	0.80	...

Gambar 8. Faktor Kualitas Pengelasan (E)^[8]

Dari data dan tabel, maka dapat dihitung:

Tebal Minimum (t_m) Pipa Tekan P-211: Diketahui Head Pompa adalah 31,42 m,

$$p = \gamma H = \rho g x H, \text{ densitas DOP (955 kg/m}^3) @ 65^\circ\text{C} = 955 \times 9,81 \times 31,42 = 294,3 \text{ kPa (42,67 psi), } D_o = 60,3 \text{ mm (2,37 inci), } S = 16,7 \text{ (ksi) = 16700 (psi), } E = 0,9, Y = 0,4, C = 1 \text{ mm (0,04 inci).}$$

Sehingga tebal minimum (t_m) pipa tekan P-211 dapat dihitung sebagai berikut:

$$t_m = \frac{PD_0}{2(SE + PY)} + C \dots\dots\dots(12)$$

$$t_m = \frac{42,67 \times 2,37}{2(16700 \times 0,9 + 42,67 \times 0,4)} + 0,04 \dots\dots\dots(13)$$

$$t_m = 0,0034 + 0,04 \text{ (inci)} = 0,043 \text{ inci} = 1,10 \text{ mm} \dots\dots\dots(14)$$

Tebal pipa 2" sch. 10 adalah 2,77 mm. Untuk tebal pipa sisi hisap P-211 tidak perlu dihitung karena tekanan kerjanya lebih kecil sehingga ketebalan pipa aman digunakan.

Tebal minimum (t_m) pipa tekan P-302 dapat dihitung setelah mengetahui tekanan kerja pompa. Tekanan pompa sebanding dengan Total tinggi tekan cairan (Total Head), Total tinggi tekan (Total Head) dapat dihitung dengan persamaan: (*Pompa dan Kompresor, Sularso dan H. Tahara, cet 6th, 26*)

$$H_t = H_a + H_{f1} + H_{f2} + H_{f3} + \Delta H_p \dots\dots\dots(15)$$

Dimana:

H_t = Tinggi Tekan Total (m), H_a = Tinggi Tekan Static (m), H_{f1-3} = Tinggi Tekan Kinetik pipa lurus, komponen pipa dan kecepatan keluar dari ujung pipa, ΔH_p = Perbedaan tekanan yang bekerja pada kedua permukaan fluida, dalam perencanaan ini nilainya 0 karena kedua permukaan berada pada tekanan atmosfer

Kerugian geser mayor (kerugian di pipa lurus) dihitung dengan persamaan Darcy [4]

$$H_{f1} = f \frac{LV^2}{d2g} \dots\dots\dots(16)$$

Dimana:

L = Panjang pipa (m), V = Kecepatan Fluida (m/s), D = Diameter Pipa (m), f = koefisien empiris yang tergantung angka Reynolds

Angka Reynolds:

$$R_e = \frac{\rho Q}{\mu \pi D} \dots\dots\dots(17)$$

Dimana:

ρ = berat jenis/ densitas DOP (955 kg/m³) @65°C, μ = viskositas mutlak (kg/m.s), 9 cP (0,009 kg/m.s) @65°C, Q = debit (m³/s), 50 m³/h (0,0139 m³/s), D = diameter dalam pipa (m), sisi hisap 108,2 mm (0,1082 m); sisi tekan 82,2 mm (0,0828m)

Sehingga Angka Reynolds di P-302 sisi hisap adalah:

$$R_e = \frac{\rho Q}{\mu \pi D} = \frac{955 \times 0,0139}{0,012 \times 3,14 \times 0,1082} \dots\dots\dots(18)$$

$$R_e = 4349 \text{ (} R_e > 4000 \text{, Aliran Turbulen) } \dots\dots\dots(19)$$

Dan Angka Reynolds di P-302 sisi tekan adalah:

$$R_e = \frac{\rho Q}{\mu \pi D} = \frac{960 \times 0,0139}{0,012 \times 3,14 \times 0,0828} \dots\dots\dots(20)$$

$$R_e = 5673 \text{ (} R_e > 4000 \text{, Aliran Turbulen) } \dots\dots\dots(21)$$

Material	Condition	ε		Uncertainty, %
		ft	mm	
Steel	Sheet metal, new	0.00016	0.05	± 60
	Stainless, new	0.000007	0.002	± 50
	Commercial, new	0.00015	0.046	± 30
	Riveted	0.01	3.0	± 70
Iron	Rusted	0.007	2.0	± 50
	Cast, new	0.00085	0.26	± 50
	Wrought, new	0.00015	0.046	± 20
	Galvanized, new	0.0005	0.15	± 40
Brass	Asphalted cast	0.0004	0.12	± 50
	Drawn, new	0.000007	0.002	± 50
Plastic	Drawn tubing	0.000005	0.0015	± 60
Glass	—	Smooth	Smooth	
Concrete	Smoothed	0.00013	0.04	± 60
	Rough	0.007	2.0	± 50
Rubber	Smoothed	0.000033	0.01	± 60
Wood	Stave	0.0016	0.5	± 40

Gambar 9. Rekomendasi Harga Kekasaran Pipa Komersial^[9]

Nilai koefisien empiris (f) dapat dicari dengan mengetahui nilai kekasaran pipa (ε). Dari Gambar 10. Diketahui bahwa pipa stainless steel baru memiliki nilai (ε) sebesar 0,002 mm, sehingga nilai:

$$(\epsilon/d) \text{ sisi hisap} = (0,002/108,2) = 0,000018, \text{ dan}$$

$$(\epsilon/d) \text{ sisi tekan} = (0,002/82,8) = 0,000024$$

Dari Gambar 1. Diagram Moody didapat nilai:

$$(f) \text{ sisi hisap} = 0,04, (f) \text{ sisi tekan} = 0,036$$

Dari perhitungan sebelumnya didapat:

L = panjang (m), sisi hisap 20,75 m, sisi tekan 194,4 m, d = diameter pipa (m), sisi hisap 108,2 mm (0,1082 m), sisi tekan 82,8 mm (0,0828 m)

V = kecepatan fluida (m/s), sisi hisap = $4 \times 0,0139 / (3,14 \times 0,1082^2) = 1,5$ m/s, dan sisi tekan = $4 \times 0,0139 / (3,14 \times 0,0828^2) = 2,58$ m/s

Sehingga kerugian gesek mayor jalur pipa P-302 sisi hisap adalah:

$$H_{f1} = f \frac{LV^2}{d2g} = 0,04 \times \frac{20,75 \times 1,5^2}{0,1082 \times 2 \times 9,81} = 0,88 \text{ m} \dots \dots \dots (22)$$

Kerugian gesek mayor jalur pipa P-302 sisi tekan adalah :

$$H_{f1} = f \frac{LV^2}{d2g} = 0,034 \times \frac{194,4 \times 2,58^2}{0,0828 \times 2 \times 9,81} = 27 \text{ m} \dots \dots \dots (23)$$

Kerugian gesek minor dapat dihitung dengan persamaan: [5]

$$H_{f2} = k \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (24)$$

Tabel 2. Tabel Jumlah Material Pada Pompa P-302 dan Perhitungannya Hasil Kerugian Gesek*

P-301 Sisi Hisap	Ukuran	Jumlah (biji)	k	H _{f2} (m)	Jumlah x H _{f2} (m)
Elbow	4"	6	0,3	0,034	0,204
Valve, Gerbang	4"	2	0,15	0,017	0,034
Strainer	4"	1	1,9	0,21	0,21
P-301 Sisi Tekan					
Elbow	3"	14	0,3	0,1	1,4
Valve, Gerbang	3"	4	0,15	0,05	0,2
Non Return Valve	3"	1	2	0,67	0,67
Flow Meter	3"	1	L _f = 200-300D	3,34	3,34

Jadi total kerugian gesek minor komponen (H_{f2}) adalah 6,06 m

Kerugian gesek karena kecepatan di ujung keluar pipa dapat dihitung dengan persamaan: (*Pompa dan Kompresor, Sularso dan H. Tahara, hal 32*)

$$H_{f3} = \frac{V^2}{2g} = \frac{2,58^2}{2 \times 9,81} = 0,34 \text{ m} \dots \dots \dots (25)$$

Sehingga Total Head diketahui:

$$H_t = H_a + H_{f1} + H_{f2} + H_{f3} = 3,5 + 27,88 + 6,06 + 0,34 = 37,8 \text{ m} \dots (26)$$

Dengan pertimbangan adanya tambahan head loss minor saat jalur pipa sudah tua, kotoran yang menempel di pipa saat pipa sudah digunakan dalam jangka panjang, adanya tambahan *fitting inlet/outlet* pompa yang berbeda dengan ukuran pipa maka perlu ditambahkan *safety factor 20%*.

Maka Head Pompa adalah $37,8 \times 1,2 = 45,36 \text{ m}$

Tebal minimum (t_m) P-302 sisi tekan sekarang dapat dihitung sebagai berikut:

Tekanan $p = \rho g H = 955 \times 9,81 \times 45,36 = 424,96 \text{ kPa/m}^2$ (61,64 psi), diameter luar pipa 3" sch. 10 adalah 88,9 mm (3,5 inci)

$$t_m = \frac{PD_0}{2(SE + PY)} + C \dots \dots \dots (27)$$

$$t_m = \frac{61,64 \times 3,5}{2(16700 \times 0,9 + 61,64 \times 0,4)} + 0,04 = 0,007 + 0,04 = 0,047 \text{ inci} = 1,19 \text{ mm} \dots (28)$$

Pipa sisi tekan P-302 dipilih 3" sch. 10 tebal 3,05 mm, aman digunakan

Pipa sisi hisap P-302 adalah 4" sch. 10, tebal 3,05 mm, aman digunakan

2.6 Menentukan Daya Pompa P-211 dan Daya Pompa P-302

Pompa P-211 menggunakan pompa eksisting, untuk menentukan daya pompa eksisting masih dapat digunakan pada jalur pipa yang baru perlu dilakukan perbandingan total head pipa dari P-211 ke tangki T-01/DOP dan dibandingkan total head pipa dari P-211 ke tangki T-02/DOP. Mengingat sisi hisap P-211 tidak ada perubahan maka yang dibandingkan hanya bagian sisi tekan saja.

Tabel 3. Tabel Jumlah Material P-211 ke Tangki T-02/DOP*

P-211 ke T-02/DOP	Ukuran	Jumlah
Pipa	2"	93,3 m
Elbow	2"	16 biji
Valve	2"	2 biji
Check Valve	2"	1 biji
Head Statis	-	7,9 m

Dibandingkan dengan :

Tabel 4. Tabel Jumlah Material P-211 ke Tangki T-01/DOP*

P-211 ke T-01/DOP	Ukuran	Jumlah
Pipa	2"	136,75 m
Elbow	2"	19 biji
Valve	2"	2 biji
Check Valve	2"	1 biji
Head Statis	-	16 m

Dari tabel diatas diketahui bahwa jalur pipa P-211 ke T-01/DOP memiliki panjang pipa, jumlah *fitting* (komponen pipa) dan Head statis lebih besar dari jalur pipa P-211 ke T-02/DOP maka dapat dipastikan bahwa daya pompa P-211 mencukupi dan pompa dapat digunakan.

Perhitungan sebelumnya sudah ditemukan Head Toal dan allowance P-302 sebesar 45,36 m, sehingga daya fluida (P_w) POmpa P-302 dapat dihitung dengan persamaan: [6]

$$P_w = \gamma QH = \rho gQH \dots\dots\dots (29)$$

Dimana:

P_w = Daya Fluida (W), ρ = Densitas DOP (955 kg/m³) @65°C, Q = Debit, 50 m³/h (0,0139 m³/s), H = Head Total, 45,36 m

$$P_w = \gamma QH = \rho gQH = 955 \times 9,81 \times 0,0139 \times 45,36 = 5902,19 \text{ Watt} \dots (30)$$

3. Simpulan

Kesimpulan dari perencanaan ini adalah:

1. Jalur pipa dari unit proses ke T-02/DOP dapat menggunakan pompa eksisting (P-211) karena panjang pipa, jumlah komponen pipa dan ketinggian tangki T-02/DOP masih lebih kecil dibanding jalur pipa ke T-01/DOP
2. Jalur pipa dari unit proses ke T-02/DOP menggunakan pipa tekan dengan ukuran 2 inci schedule 10, ukuran ini sama dengan eksisting jalur pipa dari unit proses ke T-01/DOP
3. Jalur pipa dari T-02/DOP ke *Truck Loading bay* menggunakan pipa hisap ukuran 4 inci schedule 10 dan pipa tekan ukuran 3 inci schedule 10

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada PT.X di Gresik yang telah bersedia membantu penulis dalam menyelesaikan makalah ini dan telah memberikan tempat untuk penulis agar dapat melakukan perencanaan tersebut.

Daftar Pustaka

- [1]. Kirk, R. E., Othmer, D. F., & Mann, C. A. (1949). Encyclopedia of Chemical Technology. Vol. II. *The Journal of Physical Chemistry*, 53(4), 591-591.
- [2]. Sastry, V. M. V. S., & Rao, G. R. K. (1995). Dioctyl phthalate, and antibacterial compound from the marine brown alga—*Sargassum wightii*. *Journal of applied Phycology*, 7(2), 185-186.
- [3]. Miranda, J. L. H., & López, L. A. A. (2011). Piping design: the fundamentals. *Short Course on Geothermal Drilling, Resource Development and Power Plant organized by UNU-GTP and LaGeo, in Santa Tecla, El Salvador*.
- [4]. Church Austin, H. (1993). Pompa dan Blower Sentrifugal. *Terjemahan Zulkifli Harahap. Jakarta: Penerbit Erlangga*.
- [5]. Munson, B. R., Okiishi, T. H., Huebsch, W. W., & Rothmayer, A. P. (2013). *Fluid mechanics* (pp. 271-274). Singapore: Wiley.
- [6]. Sularso, H. T. (2000). Pompa dan kompresor. *Edisi Ketujuh Pradnya Paramitha. Jakarta*.
- [7]. *DOP Manual Book, PT Eterindo Nusa Graha, Gresik*.