

Desain Jalur Pipa Potable Water Pada Geothermal Non-Process Plant

Mokhammad Daffa Abid Dzaki^{1*}, Pekik Mahardhika², Mahasin Maulana Ahmad³

Program studi D4 Teknik perpipaan, Jurusan permesinan kapal, politeknik perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*}

Program studi D4 Teknik perpipaan, Jurusan permesinan kapal, politeknik perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia²

Program studi D4 Teknik perpipaan, Jurusan permesinan kapal, politeknik perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia³

Email: adzaki27@gmail.com^{1*}; pekikmahardhika@ppns.ac.id^{2*}; mahasinmaulana@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - Perancangan sistem perpipaan utility service pada fasilitas non-process plant merupakan bagian krusial dalam mendukung keberlangsungan operasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Penelitian ini difokuskan pada perancangan jalur potable water dan industrial water yang berfungsi untuk mendistribusikan air bersih dan air proses ke berbagai bagian fasilitas non-proses. Desain sistem dirancang berdasarkan standar ASME B31.9 dan mempertimbangkan layout area, efisiensi ruang, serta keselamatan operasional. Perancangan mencakup penyusunan routing pipa, pemilihan komponen seperti elbow, tee, valve, dan flange, serta pembuatan gambar P&ID, 3D modeling, dan isometrik untuk mendukung visualisasi sistem. Selain desain fisik, dilakukan pula perhitungan head total sistem dan kebutuhan daya pompa pada kedua jalur perpipaan, baik secara manual maupun dengan bantuan software Pipe Flow Expert. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa jalur potable water memerlukan head total sebesar 14,27 meter dengan daya pompa sebesar 1,25 kW, sedangkan industrial water membutuhkan head sebesar 6,21 meter dengan daya 0,36 kW. Spesifikasi pompa ditentukan berdasarkan kurva performa dari katalog vendor. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi teknis dalam pengembangan sistem perpipaan utility pada fasilitas pembangkitan energi panas bumi.

Keyword: Potable Water, Industrial Water, Head Total, Perancangan Pipa, Pipe Flow Expert

Nomenclature

t_m	Minimum wall thickness (inch)
R_e	Bilangan Reynolds
Q	Laju Aliran Volume (m^3/s)
h_{lm}	head loss mayor (m)
h_{lf}	head loss minor (m)
H	head loss total (m)
ph	Daya pompa (KWatt)
W_{pipa}	Massa jenis pipa (lb/in^3)
W_{fluida}	Massa jenis fluida (lb/in^3)
μ	viskositas dinamis ($kg/m.s$)

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi panas bumi besar, sekitar 40% cadangan dunia, sehingga menjadi fokus transisi energi nasional. Salah satu pemanfaatannya adalah pembangunan PLTP tahap 2 di Jawa Tengah berkapasitas 55 MW. Sistem *utility service* pada fasilitas non-process plant mendukung operasi dengan menyediakan air, listrik, udara bertekanan, dan pembuangan limbah. Desain perpipaan untuk potable dan industrial water mengikuti standar ASME B31.9 serta disesuaikan dengan kondisi lapangan (atas dan bawah tanah). Software Pipe Flow Expert digunakan untuk menghitung *head loss* dan daya pompa. Desain didukung dengan gambar P&ID, model 3D, dan

isometrik, serta estimasi biaya material pipa, fitting, dan valve untuk penganggaran.

2. METODOLOGI.

2.1 Ketebalan Dinding Pipa

Ketebalan dinding pipa harus ditentukan secara tepat karena memengaruhi umur pakai dan keselamatan. Penyesuaian dilakukan sesuai fungsi sistem, dan berdasarkan ASME B31.9 2014, ketebalan minimum dihitung dengan Persamaan 2.1.

$$t_m = \frac{PD}{2SE} + A \quad (2.1)$$

Keterangan	:
t_m	: Minimum wall thickness (inch)
P	: Internal Design Pressure (psi)
D	: Outside Diameter (inch)
E	: Faktor efisiensi sambungan
S	: Maximum allowable stress
A	: Additional thickness (inch)

2.2 Bilangan Reynold

Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran itu dinamakan *laminar*, transisi atau turbulen (Ahyadi Herwan, 2021a), persamaan perhitungan reynold dapat dilihat pada 2.2

$$R_e = \frac{p.v.d}{\mu} \quad (2.2)$$

Keterangan

V : Kecepatan aliran (m/s)
 p : Massa Jenis Fluida (kg/m³)
 d : Diameter pipa (m)
 μ : viskositas dinamis (kg/m.s)

2.3 Debit Fluida

Kecepatan memengaruhi jumlah fluida yang mengalir dalam pipa, yang dinyatakan sebagai laju aliran volume, berat, atau massa. Untuk fluida inkompresibel, kapasitas aliran (Q) dihitung sesuai rumus dari Ahyadi Herwan (2021).

$$Q = A.V \quad (2.3)$$

Keterangan:

Q : Laju Aliran Volume (m³/s)
 A : Luas Penampang Aliran (m²)
 V : Kecepatan Aliran Fluida (m/s)

2.4 head loss mayor

Penurunan energi terjadi akibat kepadatan cairan dan gangguan dari permukaan pipa yang tidak rata, menciptakan hambatan dalam aliran konstan. Selama permukaan dan diameter pipa tetap, penurunan energi per satuan panjang akan stabil.

$$h_{lm} = f \cdot \frac{L.v^2}{D.2.g} \quad (2.4)$$

Keterangan:

L : Panjang pipa (m)
 V : Kecepatan aliran fluida (m/s)
 D : Diameter pipa (m)
 g : Percepatan gravitasi (m/s²)
 f : Kofisien kerugian gesek

2.5 Headloss Minor

Penurunan energi ini disebabkan oleh perubahan luas penampang dan faktor lain seperti tikungan, pelebaran, dan penyempitan. Kerugian sekunder ini menimbulkan turbulensi, gesekan, dan distribusi kecepatan yang tidak merata dalam pipa.

$$h_{lf} = k \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.5)$$

Keterangan

k : Koefisien kerugian gesek pada fitting
 v² : Kecepatan aliran fluida (m/s)
 g : percepatan gravitasi (m/s²)

2.6 Headloss Total

Penurunan headloss total mewakili pengurangan total energi dalam sistem sirkulasi fluida, yang disebabkan oleh gesekan dalam pipa dan kebocoran yang disebabkan oleh ketidakaturan aliran, seperti sambungan Tee, Ellbow, dan katup.

$$H = (\Delta Z + H_p + H_L + H_V) \quad (2.6)$$

Keterangan :

H : Head total (m)

Hp : Head Tekanan
 ΔZ : Perbedaan head tekanan
 H_L : Head loss mayor
 H_V : Head kecepatan

2.7 Daya Pompa

Kekuatan sistem adalah energi yang dibutuhkan untuk mengoperasikan pompa dan memindahkan fluida, dengan mengubah energi listrik atau mekanik menjadi energi hidrolik guna mengatasi hambatan seperti gesekan, elevasi, dan tekanan (Pradestama Putra, 2022).

$$ph = \frac{p.g.q.h}{\eta} \quad (2.7)$$

Keterangan :

p : Daya pompa (KWatt)
 p : Massa jenis air (1000 kg/m³)
 g : Percepatan gravitasi (9,81 m/detik²)
 h : Head total (m)
 η : Efisiensi pompa (%)

2.8 Jarak Penyangga Pipa

Penyangga pipa menahan beban dan meredam kejut. Beban sustain dihitung dari dimensi pipa dan densitas material (Saragi et al., 2015).

$$W_{pipa} = \frac{\pi(OD - ID)}{4} (\rho_{pipa}) \quad (2.8)$$

$$W_{fluida} = \frac{\pi(ID^2)}{4} (\rho_{fluida}) \quad (2.9)$$

$$W_{total} = W_{pipa} + W_{fluida} \quad (2.10)$$

Keterangan

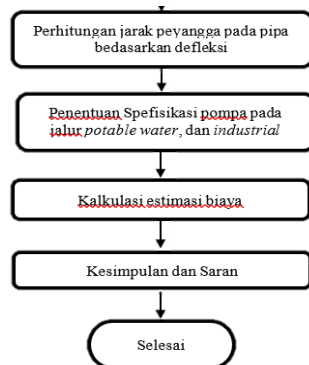
OD : Diameter luar pipa (in)
 ID : Diameter dalam pipa (in)
 ρ_{pipa} : Massa jenis pipa (lb/in³)
 ρ_{fluida} : Massa jenis fluida (lb/in³)
 Wt : Weight total (lb/ft)

2.9 Rancangan Biaya

anggaran proyek penting karena biaya dan waktu saling berkaitan dalam manajemen konstruksi, memengaruhi efisiensi dan penyelesaian proyek

3. Hasil Dan Pembahasan

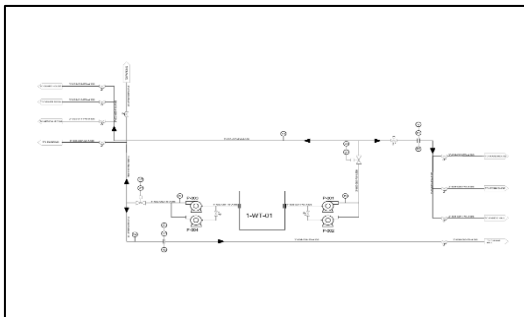
Proses yang dilakukan dalam penelitian ini digambarkan melalui diagram alir yang menerangkan metode serta langkah-langkah penyelesaian



4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 P&ID

Diagram P&ID menggambarkan jalur peralatan, saluran, dan sistem kontrol, serta menjelaskan proses dan keterkaitan antar alat. Diagram ini memuat elemen-elemen penting yang perlu diperhatikan.

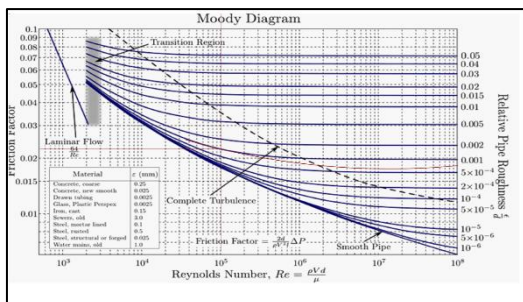


4.2 3D Modeling

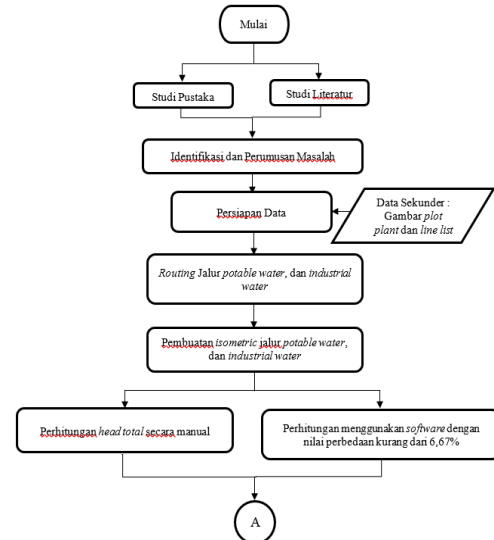
Modeling 3D merepresentasikan posisi dan ketinggian sistem secara menyeluruh, dapat dilihat dari berbagai arah untuk visualisasi yang komprehensif. Proses ini menggunakan software AutoCAD 3D Plant (lihat Gambar 4.2).

4.3 Bilangan Reynold

Koefisien gesekan ditentukan menggunakan diagram Moody, yaitu grafik yang menghubungkan kekasaran relatif pipa dengan angka Reynolds.



Gambar 4.3 menunjukkan penggunaan diagram Moody untuk menentukan friction factor sebesar 0,026. Nilai ini kemudian digunakan untuk menghitung head loss mayor.



NO	Line Service	Nilai Re
1	Potable Water	151803.391

4.4 Perhitungan Headloss Mayor

Head loss mayor terjadi akibat gesekan aliran dalam pipa lurus dan dihitung dengan persamaan Darcy-Weisbach, menggunakan panjang pipa, diameter, dan friction factor (lihat Rumus 2.4).

NO	Line Number	Head Loss Mayor (m)
Potable water		
1	3"-003-002-PW-A106	0.4091
2	3"-003-003-PW-A106	1.0695
3	3"-004-004-PW-A106	1.2974
4	3"-004-005-PW-A106	0.1579
5	3"-004-006-PW-A106	0.0682
6	3"-004-007-PW-A106	0.0467
7	3"-002-008-PW-A106	2.6882
8	3"-002-009-PW-A106	0.1170
9	3"-002-010-PW-A106	0.0590
10	3"-002-011-PW-A106	0.1381
Total head loss mayor		6.051 m

4.5 Perhitungan Headloss Minor

Head loss minor disebabkan oleh rugi-rugi akibat fittings pada sistem perpipaan. Head loss minor dapat dihitung dengan cara menambahkan nilai koefisien K (koefisien fitting) pada sistem perpipaan dan dapat dinyatakan dalam persamaan Darcy-Weisbach

NO	Line Number	Head Loss Mayor
Potable water		
1	3-003-002-PW-A106	0.7297
2	3-003-003-PW-A106	0.2380
3	3-004-004-PW-A106	0.3512
4	3-004-005-PW-A106	0.0273
5	3-003-006-PW-A106	0.0273
6	3-003-007-PW-A106	0.0273
7	3"-002-008-PW-A106	0.5268
8	3"-002-009-PW-A106	0.1327
9	3"-002-010-PW-A106	0.0273
10	3"-002-011-PW-A106	0.1327
Total head total mayor		2.220 m

4.6 Head Total

Head Loss adalah pengurangan energi atau tekanan pada cairan yang terjadi ketika mengalir melalui pipa atau saluran akibat gesekan antara cairan dengan dinding pipa, serta hambatan yang disebabkan oleh perubahan arah, ukuran, atau adanya fitting dan katup. Sebelum menentukan total head sistem, ada beberapa tahap yang perlu diambil. Untuk menentukan nilainya dapat di lihat rumus pada 2.6

Line list	Nilai (m)
Potable Water	14.419

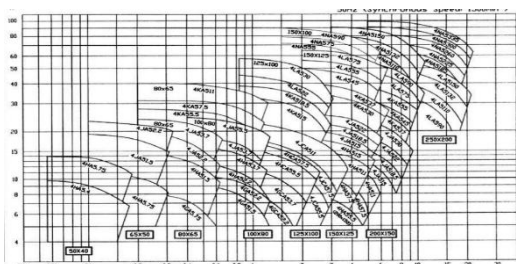
4.7 Daya Sistem

Setelah menghitung headloss total, langkah berikutnya adalah menentukan tenaga pompa yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan air bersih di plan ini dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.7.

Line list	Nilai (kw)
Potable Water	1.25
Industrial Water	0.36

4.8 Spesifikasi Jenis Pompa

Hasil perhitungan menunjukkan total head jalur potable water 14,271 m dengan daya pompa 1,25 kW, Pompa yang dibutuhkan adalah pompa sentrifugal dengan head tinggi dan kapasitas sesuai beban puncak.



Pemilihan pompa dilakukan dengan mengacu pada *selection chart* dalam katalog,

Item	Deskripsi
Merk	Ebara
Type	80x65 FSJA
Power (kw)	2.2
Kapasitas Max (l/min)	250
Speed (rpm)	1450
Head max (m)	32

4.9 Perhitungan Allowable Pipe Span

Perhitungan *pipe span* untuk tiap line service mengacu pada buku Sam Kannappan, P.E., serta didukung referensi dari M.W. Kellogg dan standar ASME B31.3 (2022). Total berat pipa dihitung dari berat pipa, berat fluida, dan berat total. Data perhitungan ada pada Tabel 4.12 dan hasilnya di Tabel 4.13.

Parameter	Nilai	Satuan
	Potable Water	
Berat pipa (wp)	4.611	lb/ft
Berat fluida (wf)	1.939	lb/ft
Berat Total (Wo)	6.550	lb/ft
Batasan Tegangan	17.908	ft
	5.457	m
Batasan Defleksi	20.646	ft
	6.292	m

Berdasarkan Tabel 4.11, jarak antar *pipe support* yang sesuai untuk jalur Potable Water adalah 17,908 ft (5,457 m). Nilai ini merupakan batas maksimal yang diizinkan dari hasil perhitungan.

4.10 Estimasi Biaya

Estimasi biaya material untuk jalur Potable Water mengacu pada data *material take off* dan harga satuan dari katalog vendor. Panjang pipa diasumsikan 6 meter per batang, dengan komponen seperti pipa, elbow, tee, valve, dan flange.

No	Deskripsi	Qty	Harga	Total Harga
Potable Waater				
1	Pipa 3", Sch XS, SMLS, PE, A106 GR.B, ASME B36.10M	15	IDR 1,410,000	IDR 21,150,000
2	Elbow 3", 90 deg, Sch 40, BW, CS A234-WPB Weld, ASME B16.9	18	IDR 210,000	IDR 3,780,000

No	Deskripsi	Qty	Harga	Total Harga
3	Tee 3" sch 40, BW, CS A234-WPB, ASME B16.9	3	IDR 485,000	IDR 1,455,000
4	Check Valve Ø 3", CL 150, CS A216-WCB Body & Cap, FT API 6FD	1	IDR 3,713,000	IDR 3,713,000
5	Gate Valve 3", CL 150, RF, CS A216-WCB W/13 CR TRIM, HF ST, API 6D, FT API 6FA	7	IDR 4,158,000	IDR 29,106,000
6	Flange Ø 3", ANSI #150, WN RF, CS A105, ASME B16.5	2	IDR 429,000	IDR 858,000
Total				IDR 60,062,00

5. KESIMPULAN

Desain sistem perpipaan utility service pada area non-process plant, khususnya untuk jalur potable water dan industrial water, telah berhasil dirancang secara menyeluruh dengan mengacu pada standar teknis ASME B31.9 dan mempertimbangkan kebutuhan operasional fasilitas PLTG, di mana konfigurasi routing pipa yang terdiri dari jalur bawah tanah dan atas tanah divisualisasikan melalui gambar P&ID, model 3D, dan gambar isometrik yang menggambarkan arah aliran serta koneksi antar komponen secara detail; perhitungan total head dan daya pompa dilakukan baik secara manual maupun menggunakan software Pipe Flow Expert, menghasilkan kebutuhan daya masing-masing sebesar 1,25 kW untuk potable water dan 0,36 kW untuk industrial water, sehingga dipilih pompa sentrifugal Ebara yang sesuai dengan kurva performa untuk menjamin efisiensi sistem; jarak antar penyangga pipa ditentukan berdasarkan batas tegangan dan defleksi dengan nilai maksimal masing-masing jalur sebesar 5,457 m dan 6,931 m, namun demi keseragaman dan keamanan sistem digunakan nilai seragam sebesar 3,6526 m; serta estimasi biaya material yang mencakup komponen seperti pipa, elbow, tee, valve, dan flange dihitung berdasarkan material take-off dan referensi harga vendor terkini, menghasilkan total biaya sebesar IDR 105.940.000 yang menjadi acuan awal dalam perencanaan anggaran proyek dan pemilihan material secara efisien dan tepat guna.

6. PUSTAKA

- [1] Perencanaan Jalur Perpipaan Fire Fighting Foam dan Water Spray System Sebagai Instalasi Perlindungan Kebakaran Pada Tanki TK-7201,

TK-7202, dan TK-7203 Pada Plant Industri Gresik (Irawan, 2022)

- [2] Piping handbook (Nayyar et al., 2000)
- [3] Analisis Kinerja Sistem Distribusi Air Bersih di Anjungan Lepas Pantai PT. X (Putro et al., 2020)
- [4] Analisis Head Pompa Sentrifugal Pada Rangkaian Seri Dan Paralel (Putro et al., 2020)
- [5] Jurnal Teknologi Kimia Unimal Analisa Profil Aliran Fluida Cair dan Pressure Drop pada Pipa L menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) (Akmal & Za, 2019)
- [6] Building Services Piping (Vohra & Bourquin, 2014)
- [7] Jenis pipa yang memiliki sambungan dengan pengelasan. (WIJANARKO, 2019)
- [8] (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2021)
- [9] PERANCANGAN DESAIN JALUR PERPIPAAN UTILITY(Teknik et al., 2024)
- [10] Perencanaan Sistem Instalasi Plambing Air Bersih dan Air Limbah di Apartemen Menara Cibinong Tower C (Pradestama Putra, 2022)
- [11] PENGARUH SUHU TERHADAP LAJU KOROSI BAJA KARBON (Royani, 2020)
- [12] Analisis Perhitungan Max Allowable Span Dan Nilai Fleksibilitas Pada Pipa Inlet Dan Outlet '