

Analisa *Pressure Drop* Pada Prototype Instalasi Pipa Industri

Andika Firdaus¹⁾, Budi Hartono¹⁾, Hablinur Al Kindi²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

²⁾Program Studi Rekayasa Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor
e-mail: andikafirdaus72@gmail.com

ABSTRAK

Pada dunia industri sistem pemipaan banyak digunakan untuk mendistribusikan fluida. Pendistribusian fluida pada sistem pemipaan, akan terjadi hambatan yang dapat membuat hilangnya suatu energi. Pendistribusian dan hilangnya suatu energi aliran fluida pada pipa, tidak dapat kita amati secara langsung. Untuk itu dilakukan pengujian rugi – rugi aliran pada alat uji rugi-rugi aliran. Pengujian tersebut seperti pengujian terhadap komponen-komponen alat uji, serta memastikan pendistribusian fluida berjalan dengan lancar. Pengujian ini dilakukan pada pipa *carbon steel* dengan ukuran berbeda pada sisi isap dan sisi tekan, menggunakan *pressure gauge*. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui faktor apa saja yang menyebabkan penurunan tekanan pada prototype instalasi sistem perpipaan industri. Dari pengujian rugi-rugi aliran dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan tekanan yang diakibatkan gangguan lokal, seperti belokan, pembesar penampang, sambungan aplikasi pada pipa dan adanya kerugian yang diakibatkan oleh gesekan antara fluida dengan dinding pipa. Hasil perhitungan teoritis mendapatkan: head total pompa 5,8 m, rugi rugi mayor 2,1226 m, rugi-rugi minor 1,5243 m, dan *pressure drop* 35,7 kilo pascals (5psi).

Kata Kunci: *fluida; instalasi; pipa; pressure drop; pressure gauge*

ABSTRACT

In the industrial world, piping systems are widely used to distribute fluids. In the distribution of fluids in the piping system, obstacles can cause energy loss, and we cannot directly observe the distribution and loss of fluid flow energy in pipes. For this reason, a flow loss test is carried out on a flow loss tester. This test is like testing the test equipment's components and ensuring that the fluid distribution runs smoothly. Using a pressure gauge, the test was carried out on carbon steel pipes of different sizes on the suction side and the pressure side. This research aims to find out what factors cause the pressure drop in the industrial piping system installation prototype. From the flow loss test, it can be concluded that there is a difference in pressure caused by local disturbances, such as bends, enlarged sections, application joints in pipes and losses caused by friction between the fluid and the pipe wall. The results of theoretical calculations get a total pump head of 5.8 m, major loss of 2.1226 m, minor losses of 1.5243 m, and pressure drop of 35.7-kilo pascals (5psi).

Keywords: *fluid; installation; pipe; pressure drop; pressure gauge*

PENDAHULUAN

Pada dunia industri kualitas produk pipa dan efisiensinya sangat perlu diperhatikan karena akan mempengaruhi biaya dan harga jual (Merle, P., & Wiggert, D. 2008). Salah satu teknologi yang berguna untuk meningkatkan efisiensi yang tinggi, yaitu penggunaan pipa dalam pendistribusian fluida cair untuk proses produksi. Pengaliran fluida melalui pipa menimbulkan adanya gesekan fluida, gesekan fluida dengan

dinding – dinding pipa yang menyebabkan penurunan tekanan (*pressure drop*) dan kecepatan aliran fluida yang berpengaruh pada penggunaan energi untuk mengalirkannya (Putra., M. 2012). Fluida yang dialirkan didalam pipa membutuhkan usaha atau kerja untuk dapat mengalir. Semakin besar gesek pipa atau semakin kasar permukaan pipa maka akan menghambat tekanan dan laju aliran fluida.

Pressure drop merupakan istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan penurunan

tekanan dari satu titik di dalam sistem (misalnya aliran didalam pipa) ke titik lain yang mempunyai tekanan lebih rendah. *Pressure drop* juga merupakan hasil dari gaya-gaya friksi terhadap fluida yang mengalir dalam pipa, yang disebabkan oleh tahanan fluida untuk mengalir (*Geankoplis C. J., 1997*). *Pressure drop* didefinisikan sebagai perbedaan tekanan dua titik dari jaringan pembawa cairan. *Pressure drop* terjadi dengan gesekan kekuatan, yang disebabkan oleh resistensi terhadap aliran, pada fluida yang mengalir melalui tabung.

Penentu utama resistensi terhadap aliran fluida adalah cairan kecepatan melalui pipa dan cairan viskositas. *Pressure drop* meningkat sebanding dengan gesekan gaya geser dalam jaringan pipa. Sebuah jaringan pipa yang mengandung kekasaran relatif tinggi serta banyak pipa fitting dan sendi, konvergensi tabung, divergensi, ternyata kekasaran permukaan dan sifat fisik lainnya mempengaruhi penurunan tekanan. Kecepatan tinggi aliran atau viskositas fluida tinggi menghasilkan penurunan tekanan yang lebih besar dibagian pipa atau katup atau siku. Kecepatan rendah akan menghasilkan penurunan tekanan.

TINJAUAN PUSTAKA

Pompa adalah salah satu jenis mesin yang berfungsi untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat yang diinginkan. Zat cair tersebut contohnya adalah air, oli, atau minyak pelumas atau fluida lainnya. Industri-industri banyak menggunakan pompa sebagai salah satu peralatan bantu yang penting untuk proses produksi. Pompa yang digunakan pada penujian ini adalah pompa sentrifugal EBARA CDX Single Phase CDXM 70/07.

Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal pada dasarnya terdiri dari suatu *impeller* atau lebih yang dilengkapi dengan sudu-sudu, yang dipasang pada poros yang berputar dan diselubungi oleh sebuah rumah (*casing*). Fluida memasuki *impeller* secara aksial didekat poros dan mempunyai energi, baik energi kinetik maupun energi potensial yang diberikan padanya oleh sudu-sudu.

Begitu fluida meninggalkan *impeller* pada kecepatan relatif tinggi, fluida itu dikumpulkan didalam volut atau seri laluan *difuser* yang mentransfortasikan energi kinetik menjadi tekanan. Ini tentu saja diikuti oleh pengurangan kecepatan. Sesudah konversi diselesaikan, fluida

kemudian dikeluarkan dari mesin tersebut untuk di teruskan ke nozel tekan.

Material

Dalam pembuatan alat instalasi *prototype* pipa industri, material pipa yang tepat sangat diperlukan karena dengan pemilihan material yang tepat dapat mempengaruhi kinerja dari alat tersebut.

Mengingat kecepatan air di dalam saluran isap maupun tekanan mempunyai batasan-batasan tertentu, maka dipilihlah diameter pipa yang memenuhi syarat mengenai hubungan antara diameter pipa dengan kecepatan aliran fluida. Pipa *carbon steel* diameter 1" dan 1-1/4" yang memenuhi persyaratan diameter pipa terhadap kecepatan aliran.

Tabel 1 Konfigurasi diameter pipa terhadap kecepatan aliran

Diameter pipa (inchi)	Diameter pipa (m)	A	V1
1/4"	0,00635	0,000032	42,1 2
1/2"	0,0127	0,000127	10,5 3
3/4"	0,01905	0,000285	4,68
1"	0,0254	0,000506	2,63
1-1/4"	0,03175	0,000791	1,68
1-1/2"	0,0381	0,001140	1,17
2"	0,0508	0,002026	0,66
2-1/2"	0,0635	0,003165	0,42
3"	0,0762	0,004558	0,29
4"	0,1016	0,008103	0,16
5"	0,127	0,012661	0,11
6"	0,1524	0,018232	0,07

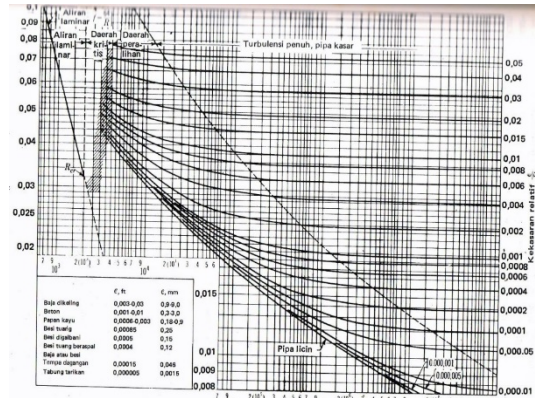
Aliran Fluida Dalam Pipa

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida. Apabila zat cair di dalam pipa tidak penuh, maka aliran termasuk dalam aliran saluran terebuka. Menurut Hukum Reynolds, aliran terdiri dari:

1. Aliran lancar (*steady*) yang disebut dengan aliran laminar. Dalam hal aliran laminar, koefisien kerugian gesek untuk pipa (λ) dalam persamaan dapat dinyatakan dengan:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots(1)$$

2. Aliran bergejolak (berfluktuasi) yang disebut dengan aliran turbulen. Untuk aliran turbulen, harga koefisien gesek tergantung pada kekasaran permukaan pipa dan bilangan Reynold yang diestimasi dari diagram Moody.



Gambar 1 Diagram Moody

Untuk menghitung kerugian gesek dalam pipa pada aliran turbulen terdapat berbagai rumus empiris. Dibawah ini akan diberikan cara perhitungan dengan rumus Darcy dan Hazen-Williams.

Persamaan darcy

Prinsip kehilangan energi akibat gesekan (friksi) dalam saluran pipa dapat dijelaskan pada persamaan Darcy-Weisbach berikut:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- h_f : kehilangan energi (m)
- f : faktor gesekan, yang tergantung dari angka Reynolds (diagram Moody), diameter, dan kekasaran pipa
- L : panjang pipa (m)
- v : kecepatan aliran fluida dalam pipa (m/s)
- d : diameter pipa (m)
- g : gaya gravitasi

Dengan cara Darcy, koefisien kerugian gesek (λ) dari pers (2.7) dihitung menurut rumus:

$$\lambda = 0,020 + \frac{0,0005}{D} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana D adalah diameter dalam pipa (m). Rumus ini berlaku untuk pipa baru dari besi cor.

3. Aliran transisi merupakan aliran peralihan saat mengalami perubahan dari aliran laminar menjadi aliran turbulen. Yang mempengaruhi aliran dalam pipa antara lain: kekasaran dinding pipa, bilangan Reynolds (Re), fluktuasi kecepatan masuk (Head kecepatan).

Bilangan Reynolds

Dalam mekanika fluida, bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia (vsp) terhadap gaya viskos (μ/L) yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang penting dalam mekanika fluida dan digunakan seperti bilangan tak berdimensi lainnya, yaitu untuk memberikan kriteria untuk menentukan dynamic similitude. Rumusan bilangan Reynolds:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

- Re : Bilangan Reynold (tak berdimensi)
- V : Kecepatan fluida yang mengalir (m/det)
- D : Diameter pipa (m)
- μ : Viskositas kinematik (m²/det)

Pada $Re < 2300$, aliran bersifat laminar.
 Pada $Re > 4000$, aliran bersifat turbulen.
 Pada $Re = 2300 - 4000$ terdapat daerah transisi. Dimana aliran dapat bersifat laminar atau turbulen tergantung pada kondisi pipa dan aliran.

Persamaan Kontinuitas

Fluida yang mengalir melalui suatu penampang saluran akan selalu memenuhi hukum kontinuitas yaitu laju massa fluida yang masuk (m1) akan selalu sama dengan laju massa fluida yang keluar (m2). Persamaan kontinuitas adalah sebagai berikut:

$$m1 = m2$$

$$(\rho AV)_1 = (\rho AV)_2$$

Persamaan kontinuitas dalam pipa adalah : $\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2$ Sehingga,

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

- m : Laju massa fluida (kg/s)
- Q : Debit aliran (m³/s)
- V : Kecepatan aliran fluida (m/s)
- A : Luas penampang dalam pipa (m²)



Dimana :

- h_{m1} : Rugi – rugi belokan dalam pipa (m)
- K : Nilai koefisien tahanan jenis belokan
- v : Kecepatan rata – rata aliran di dalam pipa (m/s)
- g : Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Rugi-rugi (Head Losses)

Rugi-rugi (yaitu head untuk mengatasi kerugian-kerugian) terdiri atas rugi- rugi gesek di dalam pipa-pipa, dan rugi-rugi di dalam belokan-belokan, reduser, katup-katup, dsb. Di bawah ini akan diberikan cara menghitungnya, satu persatu.

Rugi-rugi gesek dalam pipa

Untuk menghitung kerugian gesek di dalam pipa dapat dipakai salah satu dari dua rumus berikut ini:

$$v = CR^p S^q \dots\dots\dots(6)$$

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

- v : Kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s)
- C, p, q : Koefisien-koefisien
- R : Jari-jari hidrolis (m)
 $R = \frac{\text{Luas penampang pipa, tegak lurus aliran (m}^2\text{)}}{\text{keliling pipa atau saluran yang dibasahi (m)}}$
- S : Gradien hidrolis
- h_f : Rugi-rugi gesek dalam pipa (m)
- λ : Koefisien kerugian gesek
- g : Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)
- L : Panjang pipa (m)
- D : Diameter pipa (m)

Rugi-rugi belokan dalam pipa

Ada dua macam belokan pipa, yaitu belokan lengkung dan belokan patah (miter atau multipiece bend). Rumus umum yang dipakai untuk rugi-rugi belokan dalam pipa adalah:

$$h_{m1} = K \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(8)$$

Rugi-rugi pada katup

Rumus umum yang dipakai untuk rugi-rugi pada katup adalah:

$$h_{m1} = K \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

- h_{m1} : Rugi – rugi belokan dalam pipa (m)
- K : Nilai koefisien tahanan jenis belokan
- v : Kecepatan rata – rata aliran di dalam pipa (m/s)
- g : Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Pressure Drop

Pressure drop adalah perbedaan tekanan antara dua titik maupun ketinggian yang berbeda dalam suatu cairan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$h_l = \frac{P_1}{\rho} + Z_1 + \frac{v^2}{2g} - h_l = \frac{P_2}{\rho} + Z_2 + \frac{v^2}{2g} \dots\dots(10)$$

$$P_2 - P_1 = Z_2 - Z_1 \times h_l \times \rho \dots\dots\dots(11)$$

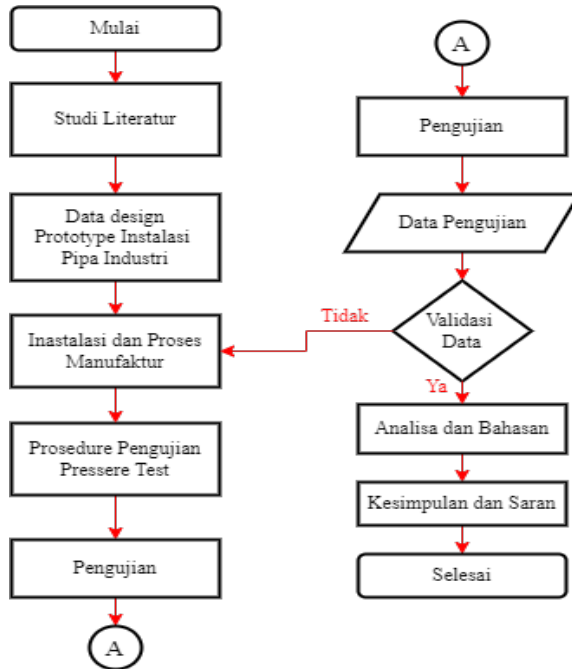
Dimana:

- h_l : Head Loss Total (m)
- $P_2 - P_1$: Perbedaan tekanan (Pa)
- ρ : Berat Spesifik (9,8 x 10³ m/s²)
- $Z_2 - Z_1$: Perbedaan ketinggian (m)
- $\frac{v^2}{2g}$: Head kecepatan keluar (m)

METODE PENELITIAN

Proses Penelitian

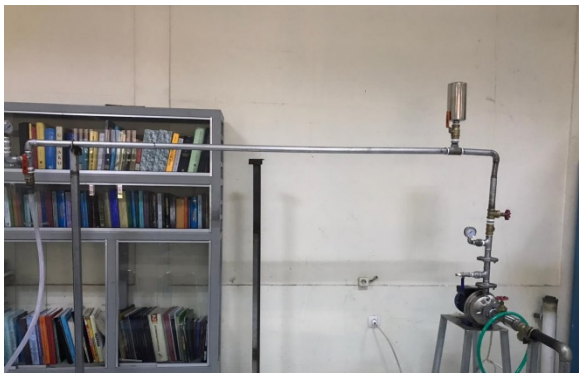
Pada tahapan penelitian ini terdapat langkah langkah penelitian yang akan dilakukan di Laboratorium Mekanika Struktur dengan langkah penelitian seperti terlihat pada gambar diagram dibawah ini:



Gambar 2 Diagram alir penelitian

Objek Penelitian

Dalam penelitian ini alat yang digunakan merupakan sebuah rangkaian pemipaan dengan menggunakan berbagai macam jenis komponen pemipaan. Alat ini berupa Instalasi alat uji rugi-rugi aliran, terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3 Gambar design perancangan instalasi prototype pipa industri

Spesifikasi Komponen Alat Uji

Pompa

Spesifikasi pompa yang digunakan pada saat pengujian, dijelaskan pada tabel berikut ini:

Tabel 2 Spesifikasi pompa pada alat uji

Pompa sentrifugal EBARA CDX	Type Single Phase CDXM 70/07.
Kapasitas (Q) : 20-80 l/min H max : 30 m	H : 28-20.5 m H min : 20.5 m
Power Source (v) : 230- 240V, 50Hz	Rpm 2780
P1/P2 : 1.0/0.55 KW	Hp : 0.75

Pipa

Pipa yang digunakan adalah pipa *carbon steel* dengan schedule 40, dengan menggunakan diameter nominal pipa pada sisi isap 1” dan sisi tekan 1-1/4”.

Pressure Gauge

Pressure Gauge yang digunakan pada pengujian ini pressure gauge 5 Bar, contoh seperti gambar dibawah ini :

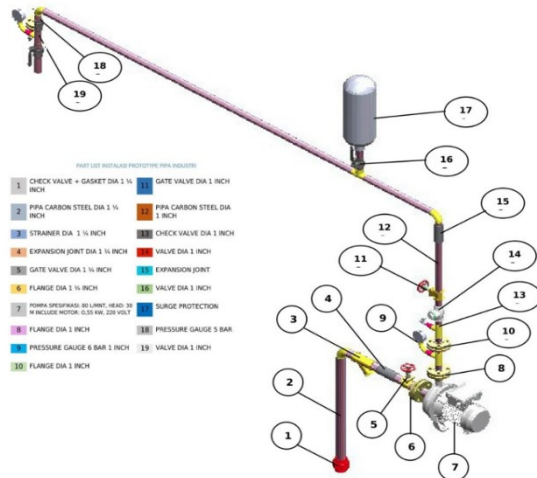


Gambar 4 Pressure Gauge 5 Bar

HASIL DAN PEMBAHASAN

Design Perancangan Instalasi

Design perancangan *prototype* instalasi sistem perpipaan industri pada penelitian ini terlampir seperti pada simulasi solidworks berikut:



Gambar 5 Gambar simulasi solidworks design perancangan instalasi *prototype* pipa industri 1

Tabel 3 Diamter pipa yang digunakan

Diameter pipa (inch)	Diameter pipa (m)	A	V1
3/4"	0,01905	0,000285	4,68
1"	0,0254	0,000506	2,63
1-1/4"	0,03175	0,000791	1,68

Menghitung Aliran dalam Pipa

Mengingat kecepatan air di dalam saluran isap maupun tekan mempunyai batasan-batasan tertentu maka dipilihlah diameter pipa yang memenuhi syarat mengenai hubungan antara diameter pipa dengan kecepatan aliran fluida. *Range* kecepatan air pada pipa yang disarankan adalah 1,2 - 5,4 m/s. Agar kecepatan aliran dalam pipa isap maupun tekan berada dalam *range* yang disarankan (1,2 - 5,4 m/s) maka diameter pipa yang dipilih adalah seperti yang tercantum dalam tabel 3.

Sesuai dengan kondisi ideal, dalam pemilihan diameter pipa yang akan digunakan berdasarkan *range* yang disarankan yaitu 1,2 - 5,4

m/s adalah pipa dengan diameter 3/4", 1" & 1 1/4". Maka pada penelitian ini digunakan pipa ukuran 1 1/4" untuk pipa isap dan 1" untuk pipa tekan.

Untuk menghitung kecepatan fluida dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5):

$$Q = V_1 \cdot A_1$$

$$V_1 = \frac{Q}{A_1}$$

Dimana D yaitu diameter dalam pipa. Pada instalasi, pipa memiliki 2 ukuran yang berbeda pada sisi isap dan sisi tekan. Pada sisi isap diameter dalam pipa (D1) = 1 1/4" = 0,03175 m dan pada sisi tekan diameter dalam pipa (D2) = 1" = 0,0254 m, dimana memiliki kecepatan aliran pipa yang berbeda.

Kecepatan aliran pipa sisi isap, yaitu:

$$vd = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D_1^2}$$

$$vd_1 = \frac{0,001333}{\frac{\pi}{4} (0,03175)^2}$$

$$vd_1 = 1,68 \text{ m/s}$$

Kecepatan aliran pipa sisi tekan, yaitu:

$$vd = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D_2^2}$$

$$vd_2 = \frac{0,001333}{\frac{\pi}{4} (0,0254)^2}$$

$$vd_2 = 2,63 \text{ m/s}$$

Perhitungan Head Kecepatan Keluar

Head kecepatan keluar pipa sisi isap, yaitu:

$$\frac{v^2 d}{2 \cdot g} = \frac{v^2 d_1}{2 \cdot g} = \frac{1,68^2}{2 \times 9,81} = 0,1439 \text{ m}$$

Head kecepatan keluar pipa sisi tekan, yaitu:

$$\frac{v^2 d}{2 \cdot g} = \frac{v^2 d_2}{2 \cdot g} = \frac{2,63^2}{2 \times 9,81} = 0,3525 \text{ m}$$

Maka total head kecepatan keluar pipa yaitu:

$$\frac{v^2 d}{2 \cdot g} = \frac{v^2 d_1}{2 \cdot g} + \frac{v^2 d_2}{2 \cdot g} = 0,1439 + 0,3525 = 0,4964 \text{ m}$$

Bilangan Reynolds

Tujuan mengetahui bilangan Reynold adalah untuk mengetahui jenis aliran, yaitu aliran laminar atau turbulen. Bilangan Reynold untuk sisi isap dihitung menggunakan persamaan (4) sebagai berikut:

$$R_{e1} = \frac{v_{d1} D_1}{\mu}$$

$$R_{e1} = \frac{1,68 \times 0,03175}{1 \times 10^{-3}}$$

$$R_{e1} = 53,34$$

Bilangan Reynold untuk sisi tekan dihitung menggunakan persamaan (4) sebagai berikut:

$$R_{e2} = \frac{v_{d2} D_2}{\mu}$$

$$R_{e2} = \frac{v_{d2} D_2}{\mu}$$

$$R_{e2} = 66,8$$

Untuk $Re = 0-2300$ aliran adalah laminar, kemudian $Re = 2300-4000$ aliran transisi, dan $Re > 4000$ aliran adalah turbulen, kedua aliran pada sisi pompa memiliki aliran laminar karena kedua bilangan Reynold adalah $0-2300$.

Koefisien Gesek dalam Pipa

Karena aliran kedua sisi pompa adalah aliran laminar, maka koefisien gesek dapat dihitung Formula Darcy dengan persamaan (3), untuk pipa sisi isap koefisien geseknya yaitu:

$$\lambda_1 = 0,020 + \frac{0,0005}{D_1}$$

$$\lambda_1 = 0,020 + \frac{0,0005}{0,03175}$$

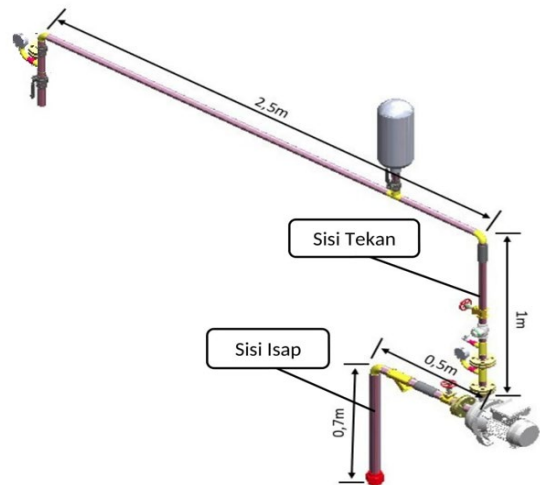
$$\lambda_1 = 0,0357$$

Untuk pipa sisi tekan koefisien geseknya yaitu:

$$\lambda_2 = 0,020 + \frac{0,0005}{D_2}$$

$$\lambda_2 = 0,020 + \frac{0,0005}{0,0254}$$

$$\lambda_2 = 0,0397$$



Gambar 6 Gambar simulasi solidworks design perancangan instalasi prototype pipa industri 2

Perhitungan Rugi-Rugi (Dynamic Head Losses)

Rugi-rugi (*Dynamic Head Losses*) dapat dibedakan menjadi dua, yaitu Rugi-rugi mayor pada gesekan pipa (*Mayor Losses*) dan Rugi-rugi minor pada sambungan (*Minor Losses*). Untuk menghitung Rugi-rugi mayor dan Rugi-rugi minor dapat di jelaskan sebagai berikut:

Rugi-rugi mayor pada gesekan pipa (Mayor Losses)

Panjang pipa vertikal pada sisi isap pompa (L_1) = 0,7 m, maka rugi-rugi gesekan pada pipa sisi isap dihitung menggunakan persamaan (7) sebagai berikut:

$$h_{f1} = \lambda_1 \frac{L_1 v^2 d_1}{D_1 2. g}$$

$$h_{f1} = 0,0357 \times \frac{0,7}{0,03175} \times 0,1439$$

$$h_{f1} = 0,0357 \times 22,0472 \times 0,1439$$

$$h_{f1} = 0,1133 \text{ m}$$

Panjang pipa vertikal pada sisi tekan pompa (L_2) = 1 m, maka rugi-rugi gesekan pada pipa sisi tekan dihitung menggunakan persamaan (7) sebagai berikut:

$$h_{f2} = \lambda_2 \frac{L_2 v^2 d_2}{D_2 2. g}$$

$$h_{f2} = 0,0397 \times \frac{1}{0,0254} \times 0,3525$$

$$h_{f2} = 0,0397 \times 39,3701 \times 0,3525$$

$$h_{f2} = 0,5510 \text{ m}$$

Panjang pipa horizontal pada sisi isap pompa (L3) = 0,5 m, maka rugi-rugi gesekan pada pipa sisi isap dihitung menggunakan persamaan (7) sebagai berikut:

$$h_{f3} = \lambda_1 \frac{L_3 v^2 d_1}{D_1 2.g}$$

$$h_{f3} = 0,0357 \times \frac{0,5}{0,03175} \times 0,1439$$

$$h_{f3} = 0,0357 \times 15,7480 \times 0,1439$$

$$h_{f3} = 0,0809 \text{ m}$$

Panjang pipa horizontal pada sisi tekan pompa (L4) = 2,5 m, maka rugi-rugi gesekan pada pipa sisi tekan dihitung menggunakan persamaan (7) sebagai berikut:

$$h_{f4} = \lambda_2 \frac{L_4 v^2 d_2}{D_2 2.g}$$

$$h_{f4} = 0,0397 \times \frac{2,5}{0,0254} \times 0,3525$$

$$h_{f4} = 0,0397 \times 98,4252 \times 0,3525$$

$$h_{f4} = 1,3774 \text{ m}$$

Maka total rugi – rugi pada gesekan yang terjadi pada pipa yaitu:

$$h_{ftotal} = h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} + h_{f4}$$

$$h_{ftotal} = 0,1133 + 0,5510 + 0,0809 + 1,3774$$

$$h_{ftotal} = 2,1226 \text{ m}$$

Rugi-rugi Minor pada Sambungan (*Minor Losses*)

Pada aplikasi sambungan pipa terdapat beberapa kerugian minor akibat dari sambungan pipa dengan berbagai nilai koefisien tahanan (K dan L), di karenakan ukuran aplikasi pipa pada sisi isap dan sisi tekan berbeda nilai koefisiennya juga berbeda:

Table 4 Nilai koefisien kerugian minor pada sisi isap

<i>Koefisien Kerugian Minor</i>	<i>Jumlah</i>	<i>Simbol</i>	<i>Nilai Koefisien</i>
Check Valve (Katup Kaki) 1 1/4"	1	K1	0,68
Elbow 90°	1	K2	0,3
Strainer/Saringan 1 1/4"	1	K3	0,6
Expansion joint	1	K4	0,48
Gate Valve/Katup Gerbang 1 1/4"	1	K5	0,18

Sumber : *Pipe Flow Software*

Rugi-rugi minor pada sisi isap:

- Pada aplikasi pipa untuk katup kaki dengan nilai koefisien (K1) = 0,68 berjumlah 1 pada pipa sisi isap, maka:

$$\Sigma K_1 = 1 \times 0,68$$

$$\Sigma K_1 = 0,68$$

Rugi-rugi pada katup kaki (h_{m1}) dihitung menggunakan persamaan (9) sebagai berikut:

$$h_{m1} = \Sigma K_1 \frac{v^2 d_1}{2.g}$$

$$h_{m1} = 0,68 \times 0,1439$$

$$h_{m1} = 0,0979 \text{ m}$$

- Pada aplikasi pipa untuk belokan yang dipakai yaitu regular flanged 90° dengan nilai koefisien (K2) = 0,3 berjumlah 1 belokan pada pipa sisi isap, maka:

$$\Sigma K_2 = 1 \times 0,3$$

$$\Sigma K_2 = 0,3$$

Rugi-rugi pada belokan pipa (h_{m2}) dihitung menggunakan persamaan (8) sebagai berikut:

$$h_{m2} = \Sigma K_2 \frac{v^2 d_1}{2.g}$$

$$h_{m2} = 0,3 \times 0,1439$$

$$h_{m2} = 0,0432 \text{ m}$$

- Pada aplikasi pipa untuk strainer/saringan dengan nilai koefisien (K_3) = 0,6 berjumlah 1 pada pipa sisi isap, maka:

$$\Sigma K_3 = 1 \times 0,6$$

$$\Sigma K_3 = 0,6$$

Rugi-rugi pada strainer/saringan (h_{m3}) dihitung menggunakan persamaan (9) sebagai berikut:

$$h_{m3} = \Sigma K_3 \frac{v^2 d_1}{2 \cdot g}$$

$$h_{m3} = 0,6 \times 0,1439$$

$$h_{m3} = 0,0863 \text{ m}$$

- Pada aplikasi pipa untuk ekspansi dengan nilai koefisien (K_4) = 0,48 berjumlah 1 ekspansi pada pipa sisi isap, maka:

$$\Sigma K_4 = 1 \times 0,48$$

$$\Sigma K_4 = 0,48$$

Rugi-rugi pada expansion (h_{m4}) dihitung menggunakan persamaan (9) sebagai berikut:

$$h_{m4} = \Sigma K_4 \frac{v^2 d_1}{2 \cdot g}$$

$$h_{m4} = 0,48 \times 0,1439$$

$$h_{m4} = 0,0690 \text{ m}$$

- Pada aplikasi pipa untuk gate valve/katup gerbang dengan nilai koefisien (K_5) = 0,18 berjumlah 1 pada pipa sisi isap, maka:

$$\Sigma K_5 = 1 \times 0,18$$

$$\Sigma K_5 = 0,18$$

Rugi-rugi pada valve/katup gerbang (h_{m5}) dihitung menggunakan persamaan (9) sebagai berikut:

$$h_{m5} = \Sigma K_4 \frac{v^2 d_1}{2 \cdot g}$$

$$h_{m5} = 0,18 \times 0,1439$$

$$h_{m5} = 0,0259 \text{ m}$$

Maka total rugi-rugi minor (*minor losses*) pada sisi isap, yaitu:

$$h_{m\text{total sisi isap}} = h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} + h_{m4} + h_{m5}$$

$$h_{m\text{total sisi isap}} = 0,0979 + 0,0432 + 0,0863 + 0,0690 + 0,0259$$

$$h_{m\text{total sisi isap}} = 0,3223 \text{ m}$$

Table 5 Nilai koefisien kerugian minor pada sisi tekan

Koefisien Kerugian Minor	Jumlah	Simbol	Nilai Koefisien
Valve 1"	3	L1	0,05
Check Valve/Katup Periksa 1"	1	L2	2
Gate Valve/Katup Gerbang 1"	1	L3	0,18
Expansion joint	1	L4	0,48
Elbow 90°	2	L5	0,3

Sumber : Pipe Flow Software

Rugi-rugi minor pada sisi tekan:

- Pada aplikasi pipa untuk valve/katup dengan nilai koefisien tahanan (L_1) = 0,05 berjumlah 3 pada pipa sisi tekan, maka:

$$\Sigma L_1 = 3 \times 0,05$$

$$\Sigma L_1 = 0,15$$

Rugi-rugi pada valve/katup (h_{m1}) dihitung menggunakan persamaan (9) sebagai berikut:

$$h_{m1} = \Sigma L_1 \frac{v^2 d_2}{2 \cdot g}$$

$$h_{m1} = 0,15 \times 0,3525$$

$$h_{m1} = 0,0529 \text{ m}$$

- Pada aplikasi pipa untuk check valve/katup periksa dengan nilai koefisien (L_2) = 2 berjumlah 1 pada pipa sisi tekan, maka:

$$\Sigma L_2 = 1 \times 2$$

$$\Sigma L_2 = 2$$

Rugi-rugi pada *check valve*/katup periksa (h_{m2}) dihitung menggunakan persamaan (9) sebagai berikut:

$$h_{m2} = \Sigma L_2 \frac{v^2 d_2}{2 \cdot g}$$

$$h_{m2} = 2 \times 0,3525$$

$$h_{m2} = 0,7050 \text{ m}$$

- Pada aplikasi pipa untuk *gate valve*/katup gerbang dengan nilai koefisien (L_3) = 0,18 berjumlah 1 pada pipa sisi tekan, maka:

$$\Sigma L_3 = 1 \times 0,18$$

$$\Sigma L_3 = 0,18$$

Rugi-rugi pada *gate valve*/katup gerbang (h_{m3}) dihitung menggunakan persamaan (9) sebagai berikut:

$$h_{m3} = \Sigma L_3 \frac{v^2 d_2}{2 \cdot g}$$

$$h_{m3} = 0,18 \times 0,3525$$

$$h_{m3} = 0,0634 \text{ m}$$

- Pada aplikasi pipa untuk ekspansio dengan nilai koefisien (L_4) = 0,48 berjumlah 1 ekspansio pada pipa sisi tekan, maka:

$$\Sigma L_4 = 1 \times 0,48$$

$$\Sigma L_4 = 0,48$$

Rugi-rugi pada expansion (h_{m4}) dihitung menggunakan persamaan (2.9) sebagai berikut:

$$h_{m4} = \Sigma L_4 \frac{v^2 d_2}{2 \cdot g}$$

$$h_{m4} = 0,48 \times 0,3525$$

$$h_{m4} = 0,1692 \text{ m}$$

- Pada aplikasi pipa untuk belokan yang dipakai yaitu regular flanged 90° dengan nilai koefisien (L_5) = 0,3 berjumlah 2 belokan pada pipa sisi tekan, maka:

$$\Sigma L_5 = 2 \times 0,3$$

$$\Sigma L_5 = 0,6$$

Rugi-rugi pada belokan pipa (h_{m5}) dihitung menggunakan persamaan (2.8) sebagai berikut:

$$h_{m5} = \Sigma L_5 \frac{v^2 d_2}{2 \cdot g}$$

$$h_{m5} = 0,6 \times 0,3525$$

$$h_{m5} = 0,2115 \text{ m}$$

Maka total rugi-rugi minor (minor losses) pada sisi tekan yaitu:

$$h_{mtotal \text{ sisi tekan}} = h_{m1} + h_{m2} + h_{m3} + h_{m4} + h_{m5}$$

$$h_{mtotal \text{ sisi tekan}} = 0,0529 + 0,7050 + 0,0634 + 0,1692 + 0,2115$$

$$h_{mtotal \text{ sisi tekan}} = 1,2020 \text{ m}$$

Maka total rugi-rugi minor (minor losses) yaitu:

$$h_{mtotal} = h_{mtotal \text{ sisi isap}} + h_{mtotal \text{ sisi tekan}}$$

$$h_{mtotal} = 0,3223 + 1,2020$$

$$h_{mtotal} = 1,5243 \text{ m}$$

Setelah menghitung rugi-rugi mayor (mayor losses) dan rugi-rugi minor (minor losses) maka dapat dihitung Rugi-rugi (h_l) yaitu:

$$h_l = h_{ftotal} + h_{mtotal}$$

$$h_l = 2,1226 + 1,5243$$

$$h_l = 3,6469 \text{ m}$$

Perhitungan *Pressure Drop*

Dari hasil pengujian menggunakan 2 di dapat hasil $P_1 = 10 \text{ psi}$ dan $P_2 = 4 \text{ psi}$. Dapat dilihat pada gambar *pressure gauge*, di bawah ini:



Gambar 7 Gambar Pressure Gauge P1



Gambar 8 Gambar Pressure Gauge P2

Pressure drop (P) dapat dihitung menggunakan persamaan (11) sebagai berikut:

$$P_1 - P_2 = (z_2 - z_1) \times h_l \text{ total} \times \varphi$$

$$P_1 - P_2 = 1 \text{ m} \times 3,6469 \text{ m} \times 9,81 \times 10^3$$

$$10 - 4 = 35\,776 \text{ pascal} = 35,7 \text{ Kilo pascal} = 5\text{psi}$$

$$6\text{psi} = 35,7 \text{ kilo pascal} = 5\text{psi}$$

Tabel 6 Analisa Hasil Pressure Drop

Pressure Drop (Pascal)	
Hasil Pengujian	Hasil Teoritis
6 psi	5 psi

Dari tabel 6 terlihat bahwa hasil pengujian dengan *pressure gauge* lebih besar 1 psi. Tidak berbeda jauh selisih antara hasil pengujian alat dengan teoritis. Kemungkinan terjadinya kesalahan pada saat melakukan pengujian atau karena ketidakakuratan alat ukur (*pressure gauge*) yang digunakan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan penggunaan pompa sentrifugal EBARA CDX Single Phase CDXM 70/07, dapat disimpulkan bahwa *head losses* merupakan bagian yang tidak dapat terpisahkan dari adanya penggunaan pompa dan pipa. Dari hasil perhitungan yang dilakukan besarnya *head losses* yang terjadi pada instalasi *prototype* industri sebesar 3,6469 m, *Pressure drop* yang terjadi pada alat pengujian menggunakan 2 *pressure gauge* sebesar 6psi dan untuk perhitungan teoritis sebesar 5psi.

Perhitungan rugi – rugi mayor pada pipa *carbon steel* memiliki sifat aliran laminar. Hal ini dikarenakan hasil data perhitungan menunjukkan bilangan Reynold kurang dari 2300. Sedangkan pada pengujian rugi – rugi minor, adanya faktor – faktor yang mempengaruhi perbedaan tekanan pada sisi masuk dengan sisi keluar, seperti adanya belokan, pembesar dan pengecil penampang, serta percabangan.

Hasil yang diperoleh pada saat pengujian membuktikan bahwa sistem fungsional keseluruhan alat uji rugi – rugi aliran ini terbukti dapat mendistribusikan aliran air dengan baik ke seluruh instalasi pipa. Baik itu pada saat pengujian rugi – rugi aliran minor maupun pada rugi – rugi

mayor. Dengan demikian, alat uji rugi – rugi aliran tersebut dapat digunakan sebagai alat uji.

Saran

Bagi para peneliti yang tertarik pada bidang kajian ini disarankan untuk dapat menindak lanjuti penelitian ini untuk mendapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat dengan menggunakan simulasi pada *CFD (Computational Fluid Dynamics)* dan menggunakan alat ukur (*pressure gauge*) dengan tingkat keakuratan yang lebih baik.

REFERENSI

Krisdwiyanto, D., & Akim, A. M. (2017). Pengujian Alat Uji Rugi-Rugi Aliran Dalam Pipagalvanis, Pipa Pvc, Pipastainless Steel Dan Pipa Acrylic. *Zona Mesin: Program Studi Teknik Mesin Universitas Batam*, 8(2).

Rizal, Y. (2014). Analisa pressure drop pada instalasi pipa alat uji rugi-rugi aliran menggunakan CFD Fluent 6.0. *Jurnal APTEK*, 5(1), 45-56.

Sanks, R. L., Hanna, D. G., & Jones, G. M. (2009). Pumping Stations for Sewage, Sludge, And Air. *Pumping Station for Sewage, Sludge, and Air in Water Storage, Transportation and Distribution, in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO*, 369-399.

Sularso, H. T., & Haruo, T. (2000). Pompa dan Kompresor Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan. *PT Pradnya Paramitha. Jakarta, Hal*, 31.

Sumadi, (1993). Perencanaan Pompa Sentrifugal Satu Tingkat, Debit 150 m³/Jam Head 30 Meter”. Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor.