

PERANCANGAN ALAT UKUR *HEAD LOSS* MAYOR UNTUK BERBAGAI REJIM ALIRAN FASA CAIR MENGGUNAKAN PIPA PVC 1/2"

Adhitya Agung Wibowo¹, Tito Hadji Agung Santoso², Thoharudin³

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Brawijaya, Tamantirto, Bantul Yogyakarta 55183
adhitya.agung.2014@ft.umy.ac.id

Intisari

Alat praktikum pengukuran *head loss mayor* ini dirancang dan digunakan sebagai media pembelajaran untuk mendukung mata kuliah mekanika fluida. Di prodi teknik mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta sudah ada alat ukur *head loss mayor* dengan pipa besi, tetapi pada sistem *plumbing* biasanya memakai pipa PVC, dengan begitu permodelan lebih baik apabila permodelan alat ukur *head loss mayor* menggunakan pipa PVC. Alat dirancang dengan berdasarkan konsep aliran fluida yang mengalir dalam pipa lurus, dan komponen penyambungannya berupa beberapa *fitting*, dengan tahapan tahapan perancangan melalui penetapan-penetapan alat yang digunakan, seperti pompa, rotameter, dan manometer. Hasil perancangan menghasilkan bahwa pompa yang dibutuhkan adalah pompa berkapasitas 25 LPM, kemudian angka Reynolds $1174 < Re < 293556$, dan hasil pengujian didapatkan nilai rata-rata koefisien gesek untuk aliran laminar 0,054, aliran transisi 0,054, dan aliran turbulen 0,0345. Deviasi dari alat ukur *head loss* ini untuk nilai koefisien gesek pada aliran laminar adalah 27,48%, transisi 22,04%, turbulen 22,39%. Pengujian membuktikan bahwa tingkat akurasi paling tinggi adalah pada aliran transisi, sedangkan akurasi terendah terdapat pada aliran laminar.

Keywords: Perancangan, *head loss mayor*, koefisien gesek

1. PENDAHULUAN

Dalam sistem perpipaan terdapat dua fenomena rugi-rugi aliran yaitu *head loss minor* dan *head loss mayor*. *Head loss* sangat merugikan dalam aliran fluida, karena dapat menurunkan efisiensi suatu aliran. *Head loss minor* pada aliran fluida terjadi disebabkan karena adanya *fitting* seperti *reducer*, *tee*, *valve*, *elbow*, *flange*, dan sebagainya sedangkan *head losses mayor* disebabkan karena adanya gesekan antara fluida dan permukaan pipa yang dilewatinya pada pipa lurus. Media pembelajaran mengenai *head loss mayor* dalam hal ini adalah alat praktikum yang terdapat pada labolatorium teknik mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta sudah ada, tetapi pipa yang digunakan pada alat praktikum tersebut adalah pipa besi. Pada sistem *plumbing* pada umumnya menggunakan pipa PVC, dengan begitu permodelan lebih baik menggunakan pipa PVC.

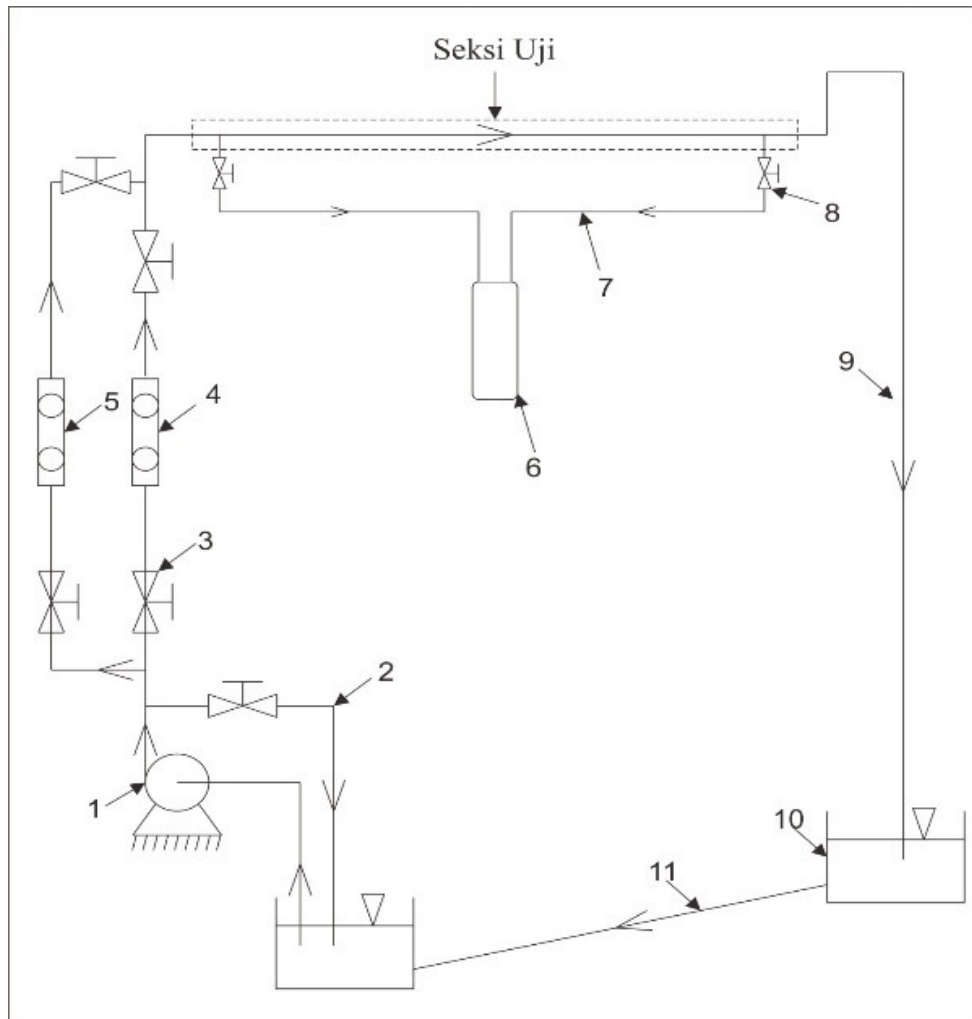
Alat praktikum pengujian *head loss mayor* untuk media pembelajaran mata kuliah mekanika fluida. Pentingnya pengetahuan tentang *head loss mayor* untuk matakuliah mekanika fluida menjadikan media pembelajaran ini harus diadakan. Pipa PVC yang banyak digunakan untuk mengalirkan fluida pada rumah-rumah masyarakat untuk sistem *plumbing* menjadikan rujukan untuk penetapan pipa PVC sebagai pipa yang digunakan pada perancangan ini.

Sutrisno (2014), melakukan penelitian tentang pengukuran koefisien gesek pipa galvanish 1/2", 3/4", dan 1" dengan operasi fluida bertemperatur, Siregar & Sinaga (2013) Merancang alat uji koefisien gesek dengan pipa galvanish dan PVC 1", Ermandi (2014) Merancang alat praktikum pengujian *head loss* aliran fluida tak termampatkan pada pipa PVC 1" dan 2", dan Yosi dkk, (2014) pengembangan media pembelajaran pengukuran rugi rugi tekanan aliran fluida fasa cair. Dari semua rujukan hasil koefisien gesek yang didapat adalah semakin besar angka

Reynolds maka koefisien gesek akan semakin kecil. Untuk pipa PVC $\frac{1}{2}$ " masih belum ada yang meneliti, maka dengan alasan ini rujukan untuk penetapan pipa PVC $\frac{1}{2}$ " sebagai pipa yang digunakan pada perancangan ini.

2. METODE PERANCANGAN

Tahapan metode perancangan alat pengukuran *head loss mayor* meliputi tahapan perancangan konseptual, desain, perakitan alat, pengujian awal dan analisa data. Setelah mendapatkan skema alat uji seperti pada gambar 1.

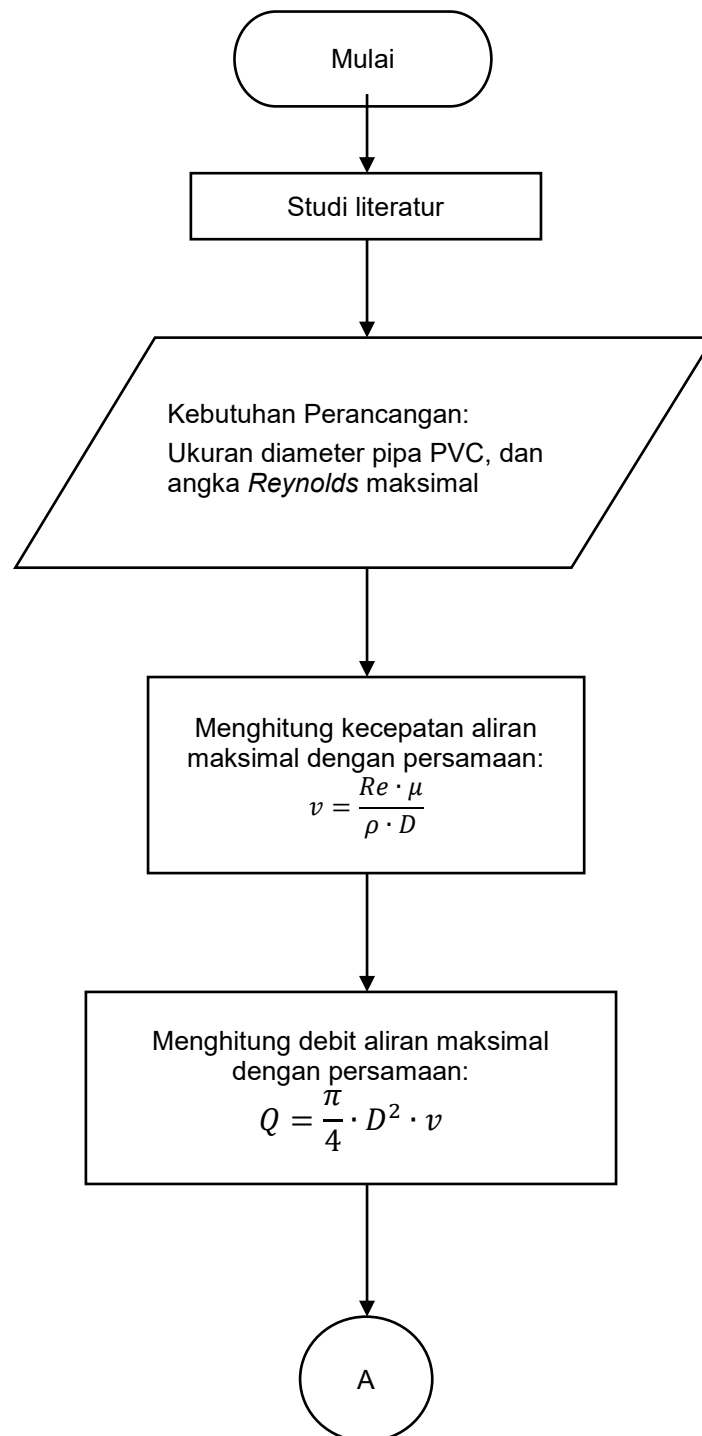


Gambar 1. Skema alat uji

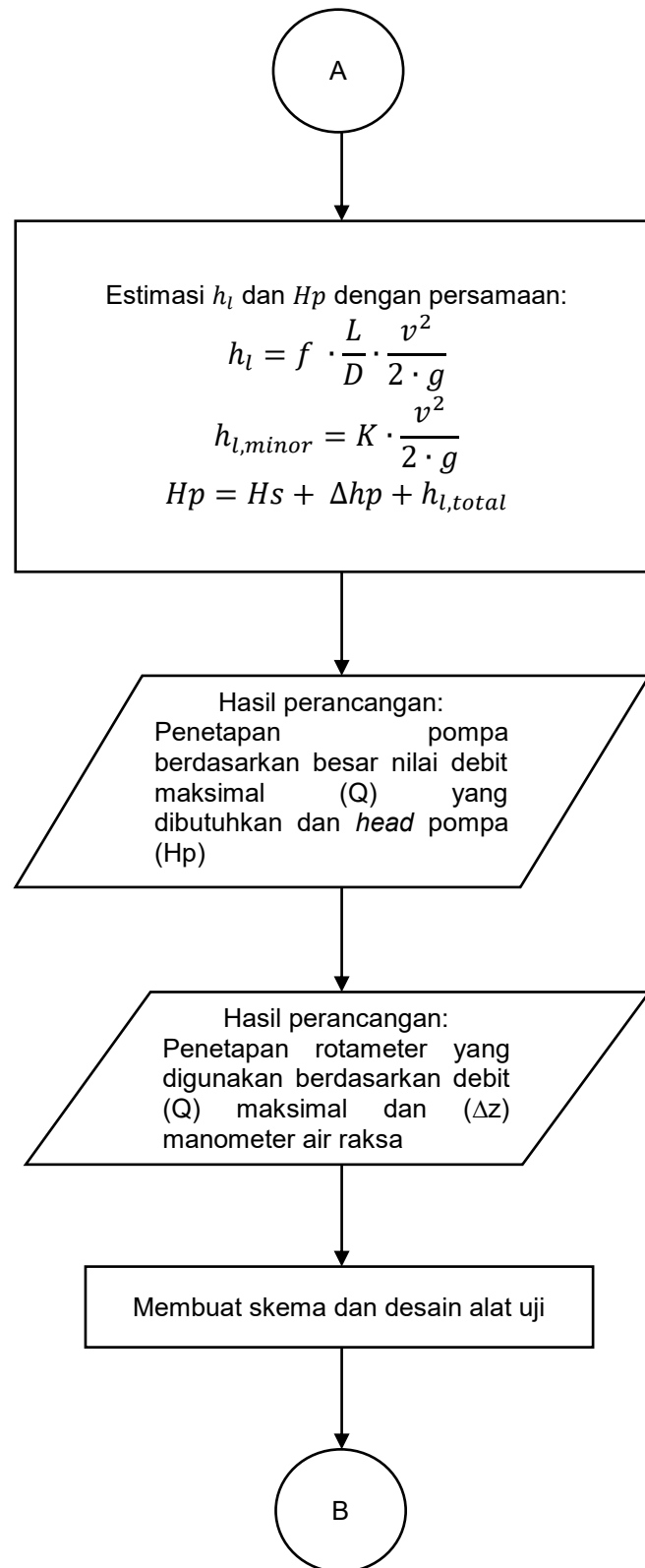
Keterangan gambar :

1. Pompa
2. Bypass
3. Katup
4. Rotameter untuk aliran turbulen
5. Rotameter untuk aliran laminar dan transisi
6. Manometer atau *differential pressure meter*
7. Selang menuju manometer atau *differential pressure meter*
8. Katup pengatur aliran ke manometer atau *differential pressure meter*
9. Sistem perpipaan
10. Bak penampung air
11. Pipa penghubung tangki

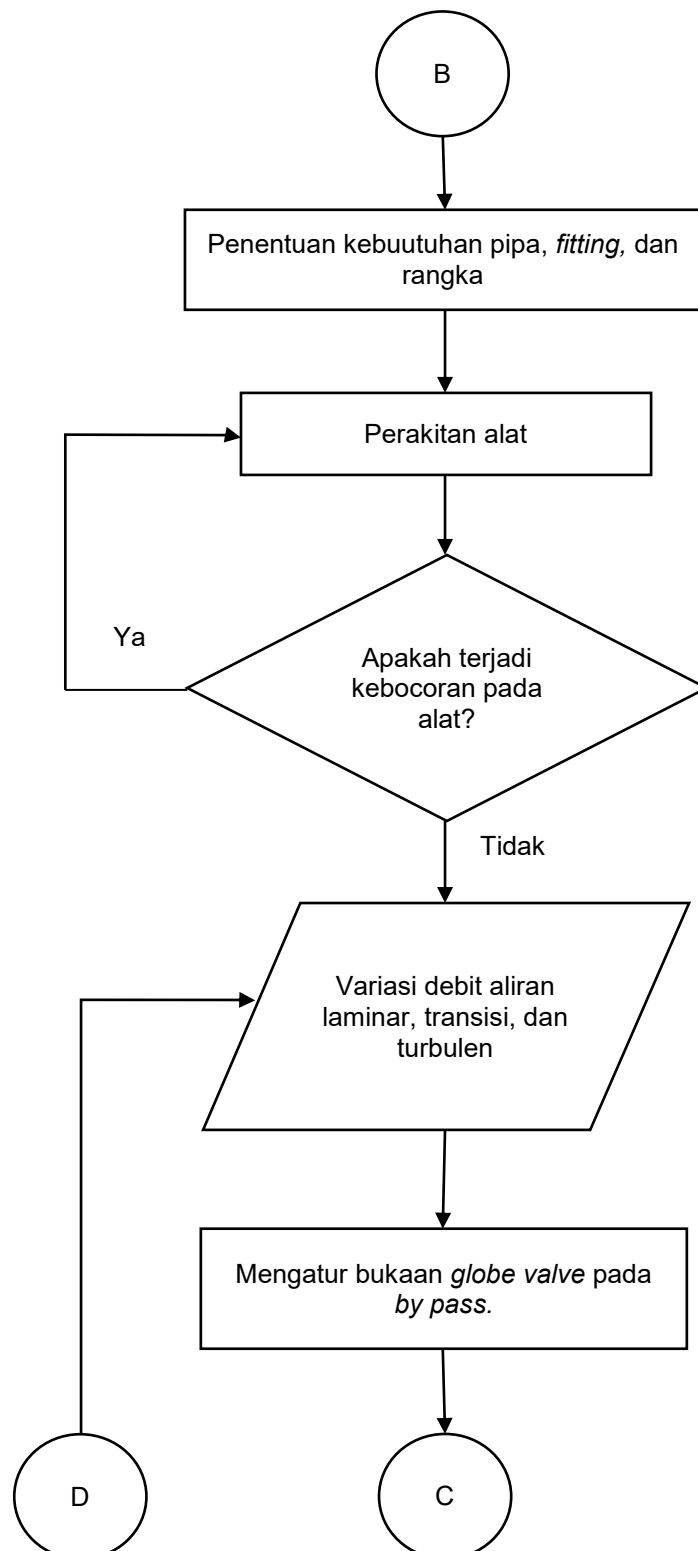
Diagram alir perancangan ini merujuk pada tinjauan pustaka dan skema alat uji pada gambar 1 menghasilkan urutan perancangan seperti pada gambar 2



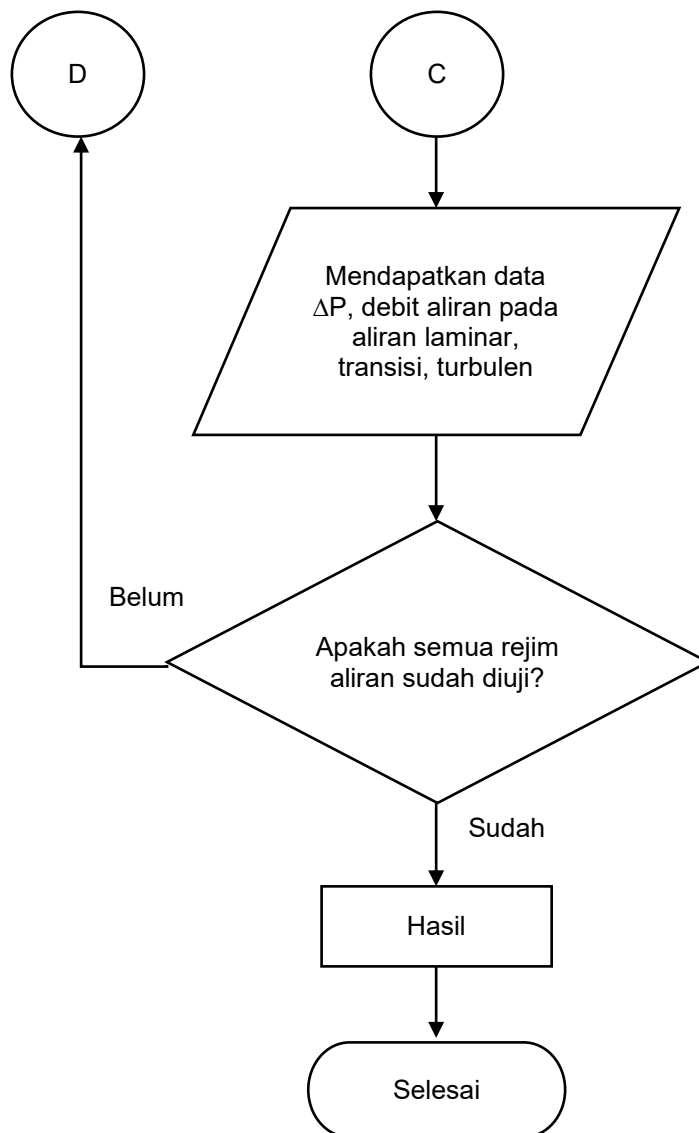
Gambar 2. Diagram alir perancangan



Gambar 2. Diagram alir perancangan (lanjutan)



Gambar 2. Diagram alir perancangan (lanjutan)



Gambar 2. Diagram alir perancangan (lanjutan)

Maka untuk membuat alat diperlukan bahan-bahan sebagai berikut:

1. Pipa PVC ukuran ½" sepanjang 6 meter dan ukuran 1" sepanjang 3 meter.
2. *Globe valve* ukuran ½" sebanyak 2 buah dan ukuran 1" sebanyak 1 buah
3. *Ball valve* ukuran ½" sebanyak 2 buah.
4. Besi siku lubang sepanjang 15 meter.
5. Papan triplek dengan luas 2 x 1,5 meter.
6. Manometer air raksa.
7. Rotameter kapasitas 1-11 LPM, dan 20-150 LPM.
8. *Reservoir* berupa bak air.
9. Pompa air sentrifugal.
10. Selang transparan ukuran 1/8" sepanjang 2 meter.

Dengan bahan-bahan diatas, dan setelah hasil rancang bangun maka hasil pembuatan alat percobaan seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Alat pengukuran *head loss mayor*

Bilangan *Reynolds* adalah bilangan tidak berdimensi yang penting digunakan untuk penelitian aliran fluida pada pipa. Adapun bilangan *Reynolds* untuk aliran di dalam pipa dapat dihitung dengan persamaan:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan :

- Re = Angka Reynolds
- v = Kecepatan fluida (m/s)
- D = Diameter dalam Pipa (m)
- ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)
- μ = Viskositas dinamik (N.s/m²)

Bilangan Reynolds ini menerangkan profil aliran fluida dalam pipa dengan:

- a. Laminar $100 < Re < 2300$
- b. Transisi $2300 < Re < 4000$
- c. Turbulen $Re > 4000$

Besar selisih tekanan antara dua titik dapat diukur oleh alat ukur manometer, dengan data selisih tekanan maka persamaan yang digunakan adalah:

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta z \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- h_l = *head loss* (m)
- ΔP = selisih tekanan (N/m²)

$$\begin{aligned}\rho &= \text{massa jenis fluida } (kg/m^3) \\ \Delta z &= \text{selisih ketinggian manometer (m)} \\ g &= \text{percepatan gravitasi } (m/s^2)\end{aligned}$$

Untuk menentukan *head loss* dengan menggunakan data persamaan perbedaan tekanan maka persamaan yang digunakan adalah:

$$h_l = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned}\Delta P &= \text{selisih tekanan } (N/m^2) \\ \rho &= \text{massa jenis fluida } (kg/m^3) \\ g &= \text{percepatan gravitasi } (m/s^2) \\ h_l &= \text{rugi-rugi aliran (m)}\end{aligned}$$

Pada pipa lurus persamaan *head loss* yang terjadi adalah *head loss mayor*, karena fluida bergesekan dengan koefisien gesek dinding pipa, maka persamaan yang digunakan adalah:

$$h_l = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned}h_l &= \text{head loss mayor (m)} \\ f &= \text{koefisien gesek} \\ L &= \text{panjang pipa (m)} \\ D &= \text{diameter pipa (m)} \\ g &= \text{percepatan gravitasi } (m/s^2) \\ v &= \text{kecepatan aliran fluida } (m/s)\end{aligned}$$

Head loss minor terjadi akibat adanya *fitting* dalam sistem perpipaan seperti *elbow*, *tee*, *reducer*, dan sebagainya. *Head loss minor* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$h_{l,min} = n \cdot K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

$$\begin{aligned}h_{l,min} &= \text{head loss minor (m)} \\ K &= \text{koefisien tahanan} \\ v &= \text{kecepatan aliran fluida } (m/s) \\ g &= \text{percepatan gravitasi } (m/s^2) \\ n &= \text{banyaknya fitting}\end{aligned}$$

Persamaan koefisien gesek pada aliran laminar, transisi, dan turbulen berbeda-beda. persamaan koefisien gesek menurut diagram Moody:

a. Aliran Laminar

$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (6)$$

b. Aliran Transisi

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log \left(\frac{\epsilon}{D} + \frac{9.35}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \dots\dots\dots (7)$$

c. Aliran Turbulen (untuk pipa halus dengan ϵ/D mendekati 0)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(Re \cdot \sqrt{f}) - 0.8 \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

$$f = \text{koefisien gesek}$$

Re = angka Reynolds
 D = diameter pipa (m)
 ε = angka kekasaran pipa (m)

Head total pompa adalah ketersediaan kemampuan pompa untuk mengalirkan kapasitas air seperti yang direncanakan, *head* total pompa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$H_p = h_s + \Delta h_p + h_l + \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan:

H_p = *Head* total pompa (m)
 h_s = *Head* statis total (m)
 Δh_p = Perbedaan *head* tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air (m)
 h_l = Berbagai kerugian *head* pada instalasi sistem pipa (m)
 $\frac{v^2}{2 \cdot g}$ = *Head* kecepatan keluar (m)

Head total pompa adalah ketersediaan kemampuan pompa untuk mengalirkan kapasitas air seperti yang direncanakan. *Head* total pompa dipengaruhi oleh instalasi sistem pipa yang dialayani oleh pompa. *Head* total pompa dapat dihitung dengan persamaan.

$$H_p = h_s + \Delta h_p + h_l \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan:

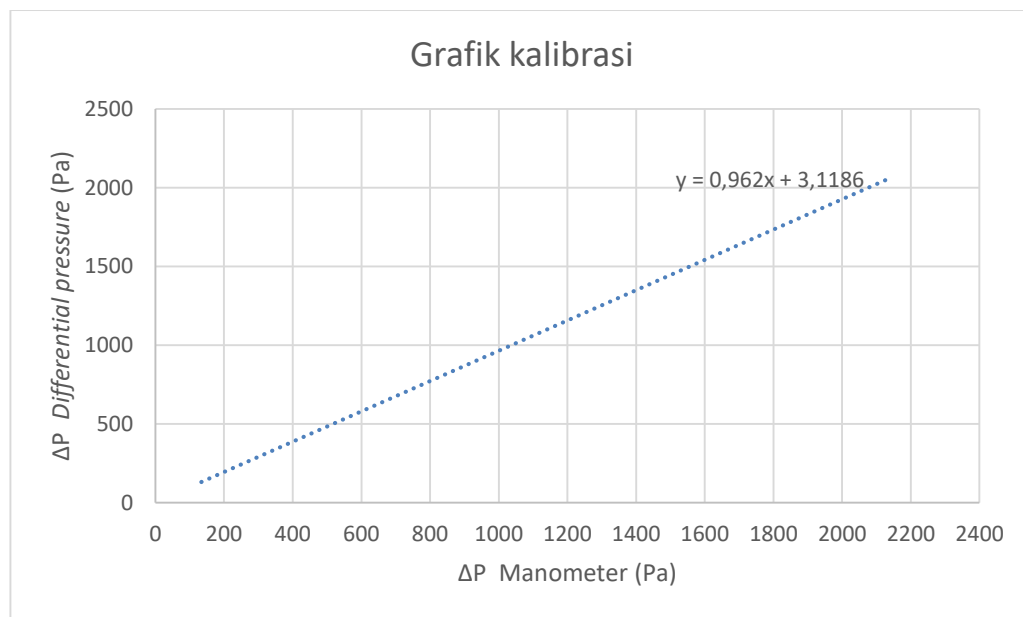
H_p = *Head* total pompa (m)
 h_s = *Head* statis total (m)
 Δh_p = Perbedaan *head* tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air (m)
 h_l = Berbagai kerugian *head* pada instalasi sistem pipa (m)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dihitung *head* pompa maksimal yang didapatkan dari perhitungan *head* static, *head* tekanan, *head* loss adalah 2,9045 meter dan pada perhitungan maksimal dengan menggunakan besar angka *Reynolds* 29356 menghasilkan debit yang diperlukan adalah 25 LPM, maka untuk menetapkan pemilihan pompa yang sesuai dengan perancangan alat ukur *head loss mayor* ini adalah pompa yang berkapasitas lebih dari 25 LPM meter yaitu pompa 1AWZB125H1.

Rotameter yang sesuai pada pecarancangan untuk alat ukur *head loss mayor* ini adalah rotameter yang berkapasitas pengukurannya lebih dari 25 LPM maka rotameter yang digunakan adalah rotameter berkapasitas 1-11 LPM dan 20-150 LPM. Dan untuk Jadi untuk panjang manometer yang digunakan untuk mengukur selisih Δz adalah minimal 19,5 cm, dan panjang selang yang digunakan 30 cm.

Kalibrasi pada *differential pressure meter* bertujuan untuk memudahkan pengambilan data pada aliran laminar, transisi dan turbulen, tetapi manometer hanya dapat digunakan pada aliran turbulen karena tekanan dialiran turbulen lebih besar dibanding tekanan pada aliran laminar dan transisi. Maka untuk data awal kalibrasi diambil dari aliran turbulen, untuk memudahkan pengambilan data harus dihitung atau dikalibrasi dengan acuan manometer untuk pengukuran yang menggunakan *differential pressure meter* dengan data pada grafik kalibrasi pada gambar 1.



Gambar 4. Grafik kalibrasi *differential pressure meter*

Gambar 4 menunjukkan perbedaan hasil dari pembacaan ΔP pada alat ukur manometer dan alat *differential pressure*. Adanya sedikit perbedaan hasil tapi tetap konstan hasil ΔP yang didapatkan mengalami kenaikan. Selisih antara hasil data eksperimen ΔP ini mengalami deviasi dengan selisih yang sedikit. Baik alat ukur manometer maupun alat ukur *differential pressure* dapat digunakan, tetapi manometer hanya dapat digunakan pada tekanan tinggi yaitu pada aliran turbulen menunjukkan bahwa perhitungan kalibrasi hanya dapat dilakukan pada aliran turbulen dengan mendapatkan persamaan kalibrasi karena pada aliran transisi dan laminar manometer air raksa yang digunakan tidak dapat membaca selisih tekanan yang terjadi akibat faktor tekanan yang terlalu kecil maka harus menggunakan kalibrasi antara alat ukur manometer dan *differential pressure*. Persamaan kalibrasi yang didapatkan pada grafik kalibrasi adalah :

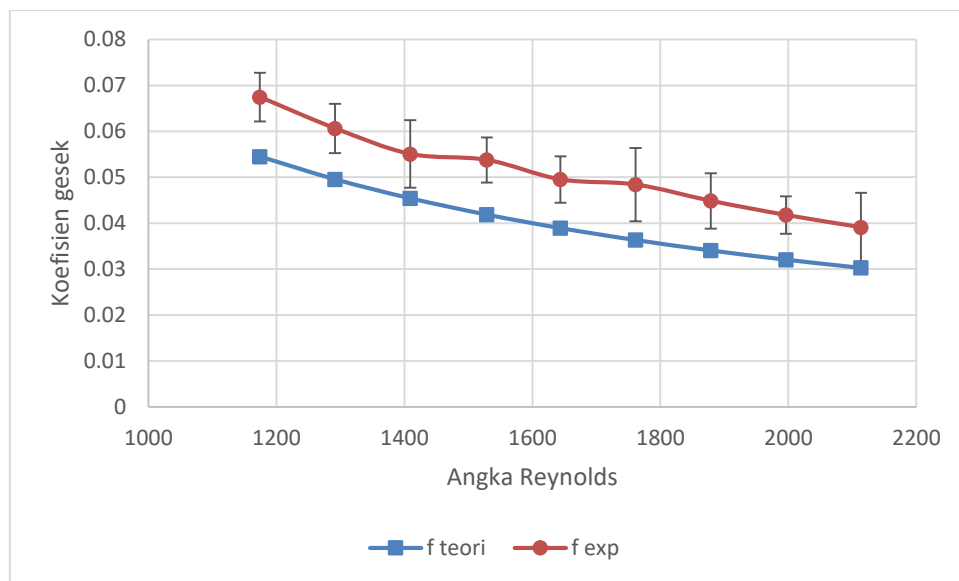
$$x = \frac{y - 3,1186}{0,962} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

$x = \Delta P$ kalibrasi

$y = \Delta P$ *differential pressure*

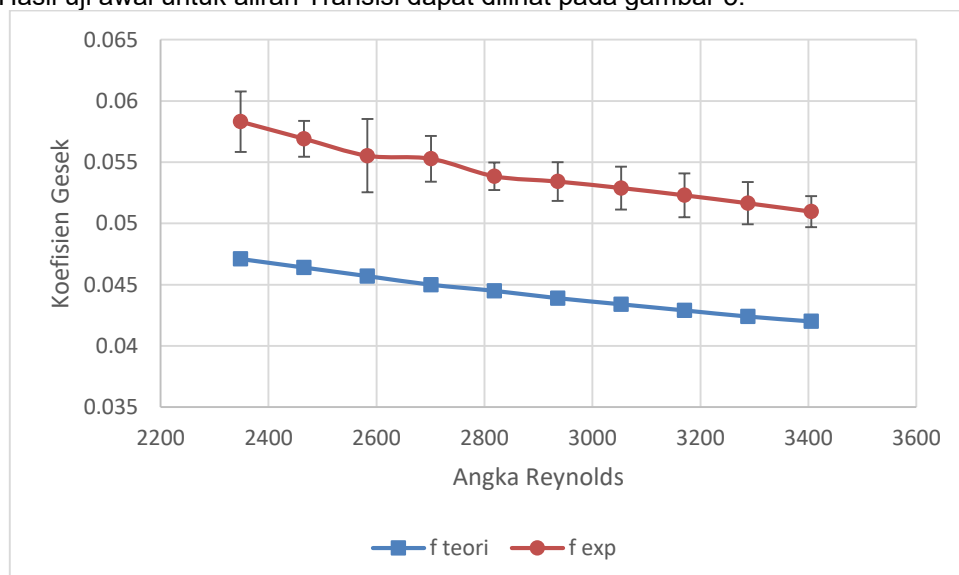
Hasil uji awal untuk aliran laminar dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 5. Grafik perbandingan koefisien gesek eksperimen dan koefisien gesek teori aliran laminar

Hasil data awal pada aliran laminar menunjukkan bahwa koefisien gesek teori menurun secara kontinyu dari angka Reynolds terendah ke tertinggi, hasil yang sama ditunjukkan pada grafik eksperimen. Ini disebabkan karena hasil pengambilan data selisih tekanan menunjukkan hasil semakin besar debit aliran maka semakin besar juga selisih tekanan. Dengan begitu koefisien gesek akan menurun ketika debit aliran membesar. Deviasi yang terjadi antara koefisien gesek eksperimen dengan koefisien gesek teori adalah sebesar 27,48%, ini disebabkan karena pada eksperimen menggunakan pipa PCV $\frac{1}{2}$ ", dan panjang pipa yang diukur adalah 1 meter, sedangkan untuk teori pipa yang digunakan bukan pipa PVC.

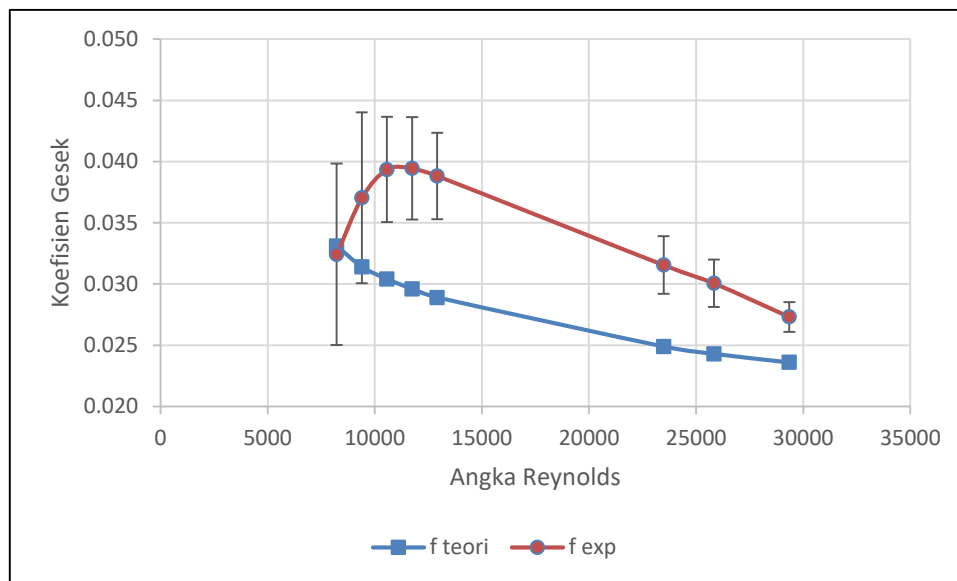
Hasil uji awal untuk aliran Transisi dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 6. Grafik perbandingan koefisien gesek eksperimen dan koefisien gesek teori aliran transisi

Pada aliran transisi hasil data awal untuk koefisien gesek teori dan eksperimen sama-sama menunjukkan penurunan dari angka Reynolds terendah sampai angka Reynolds tertinggi. Hasil ini menyebabkan deviasi koefisien gesek eksperimen dan koefisien gesek teori adalah 22,04%. Untuk aliran transisi yang debit dan kecepatan aliran fluidanya lebih besar dibanding pada aliran laminar menyebabkan alat ukur *differential pressure* sedikit lebih mudah untuk membaca selisih tekanan yang terjadi. Maka hasil koefisien gesek eksperimen pada aliran transisi tidak ada kenaikan pada setiap titiknya. Nilai ΔP yang didapatkan pada eksperimen itu membesar secara kontinyu dengan membesarnya nilai angka *Reynolds*, nilai ΔP nya semakin besar karena itu *head loss mayor* yang didapatkan membesar juga. Hasil data dari aliran transisi ini termasuk data yang bagus, karena nilai koefisien gesek teori dan nilai koefisien gesek eksperimen sama-sama turun.

Hasil uji awal untuk aliran turbulen dapat dilihat pada gambar 6



Gambar 7. Grafik perbandingan koefisien gesek eksperimen dan koefisien gesek teori aliran turbulen

Hasil data awal pada aliran turbulen menunjukkan bahwa koefisien gesek teori menurun secara kontinyu dari angka Reynolds terendah ke tertinggi, tetapi tidak pada hasil koefisien gesek eksperimen. Pada hasil pembacaan *differential pressure* menunjukkan bahwa ΔP pada titik pertama sampai titik kedelapan mendapatkan hasil yang meningkat, yang menyebabkan *head loss* pada semua titik meningkat juga, tetapi tidak dengan hasil koefisien geseknya. Pada koefisien gesek eksperimen terdapat kenaikan pada titik pertama sampai titik ketiga. Ini disebabkan karena besar nilai kecepatan pada titik pertama sampai titik ketiga lebih dominan dan menyebabkan hasil koefisien gesek menjadi meningkat. Pada nilai *Re* dibawah 10000 pada eksperimen aliran turbulen kecepatan aliran belum bisa menangani besar selisih tekanan yang terjadi, dan apabila nilai *Re* diatas 10000 kecepatan aliran sudah dapat menangani selisih tekanan yang terjadi. Kenaikan pada titik pertama sampai titik ketiga ini disebabkan karena selisih tekanan yang diukur pada pipa lurus satu meter terdapat pada dinding bawah pipa atau tekanan statik. Dengan begitu mungkin alat ukur *differential pressure meter* sulit untuk membaca selisih tekanan yang terjadi walaupun pada debit aliran yang cukup besar. Besar nilai deviasi dari eksperimen pengambilan data aliran turbulen ini adalah 22,39%. Ini menunjukkan bahwa besar nilai koefisien gesek pada aliran turbulen cukup kecil semakin mendekati teori karena lebih kecil dibanding hasil deviasi aliran laminar.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Debit maksimal yang terjadi pada instalasi adalah 25 LPM, maka pompa yang digunakan adalah pompa yang lebih dari 25 LPM yaitu pompa 30 LPM.
2. Alat ini dapat digunakan dengan deviasi pada aliran laminar sebesar 27,48%, transisi sebesar 22,04%, dan turbulen sebesar 22,39%, maka alat pengukuran *head loss mayor* ini baik digunakan pada aliran yang besar, dan alat ini dapat digunakan pada range $1174 < Re < 293556$.
3. *Differential pressure* dapat digunakan tetapi setelah mendapatkan data ΔP harus di kalibrasi dahulu dengan persamaan $y = 0,962x + 3,1186$.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Chaurette, J. (2003). *PUMP SYSTEM ANALYSIS AND SIZING*. In J. Chaurette, *Chapter 3 - The Components of Total Head* (pp. 3.25-3.26). Fluid Design Inc.
- Chen, J. J., & Ackland, A. D. (1990). *Correlation of Laminar, Transitional and Turbulent Flow Friction Factor*. Auckland: *Journal Of Water Engineering Group, Volume 89*.
- Crane. (1982). *Flow Of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe* (4th ed.). New York: Technical Paper.
- Ermandi, D., & Darmanto. (2014). Perancangan Alat Praktikum Pengujian Head Loss Aliran Fluida Tak Termampatkan. Semarang: *Jurnal Ilmiah Cendikia Eksakta*.
- Glenn, O. B. (2002). *History of the Darcy-Weisbach Equation for Pipe Flow Resistance*. Oklahoma: *Journal ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES HISTORY*.
- Helmizar. (2010). Studi Eksperimental Pengukuran Head Losses Mayor (pipa PVC 3/4") dan Head Losses Minor Belokan Knee 90 diameter 3/4") Pada Sistem Instalasi Pipa. Bengkulu: *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Volume I(2)*.
- Moody. (1944). *Friction Factors for Pipe Flow*. Trans ASME.
- Ramadhan, Y., Ramelan, & Sumbodo, W. (2014). Pengembangan Media Pembelajaran Pengukuran Rugi Aliran Fluida Cair Dalam Pipa Venturi Untuk Menunjang Perkuliahan Mekanika Fluida. Semarang: *Journal of Mechanical Engineering Learning, Vol III(2)*.
- Richard, C. A., & Richard, S. (1998). *Pressure Loss Equations For Laminar and Turbulent Non-Newtonian Pipe Flow*. Warrington: *Journal Of Hydraulic Engineering, 124(5)*.
- Siregar, J. F., & Sinaga, B. J. (2013). Perancangan Alat Uji Gesek Aliran Di Dalam Saluran. Bandar Lampung: *Jurnal FEMA, Vol. I(1)*.
- Souveniergus, T. R. (2011). Kerugian Jatuh Tekan (Pressure Drop) Pipa Mulus Acrylic Diameter 8 mm. Depok: Universitas Indonesia.
- Sularso. (2000). Pompa dan Kompresor. In Sularso, *Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan* (7th ed., pp. 26-27). Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Sutrisno. (2014). Kajian Teoritik Dan Experimental Friction Factor Pada Pipa Galvanish Dengan Aliran Fluida Air Panas. Yogyakarta: *Jurnal POLITEKNOSAINS, Vol XIII(2)*.
- Wibowo, P. A. (2013). *Analisis Pengaruh Head Losses Pada Pelokan Pipa 180o Dengan Variasi Non Tube Bundle, Tube Bundle 0,25 Inchi, dan Tube Bundle 0,5 Inchi*. Jember, Indonesia: Universitas Jember.
- Wibowo, P. (2013). Analisis Pengukuran Head Losses Pada Belokan Pipa 180 Dengan Variasi Non Tube Bundle, Tube Bundle 0.025 inchi, dan Tube Bundle 0.5 inchi. *Universitas Jember*.