

# Studi Eksperimental Tekanan Jaringan Perpipaan

Siti Hardiyanti Rahma<sup>1\*</sup>, Mukhsan Putra Hatta<sup>1</sup>, Bambang Bakri<sup>1</sup>, Sulhairi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino km.6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

\*Email: sthardiyantirahma@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052021.02

## Abstrak

Tekanan aliran adalah salah satu faktor penting dalam pengaliran air dalam pipa. Bila tekanan rendah, maka akan menimbulkan masalah dalam pendistribusian jaringan pipa. Namun bila tekanan terlalu besar akan menyebabkan kehilangan energi. Selain itu, dalam instalasi jaringan pipa akan terjadi hambatan aliran yang disebabkan faktor-faktor instalasi jaringan pipa itu sendiri seperti kecepatan aliran, perubahan dimensi pipa dan adanya belokan, serta perubahan kekasaran material pipa. Hambatan aliran akan menyebabkan turunnya energi dan tekanan. Tujuan penelitian ini yaitu menganalisis seberapa besar pengaruh parameter aliran terhadap tekanan dalam jaringan perpipaan dan mendapatkan hubungan parameter tak berdimensi pada jaringan perpipaan. Penelitian ini menggunakan penelitian eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di Gowa. Karakteristik sampel air yang digunakan adalah density ( $\rho$ ) 1.000 kg/m<sup>3</sup>, viskositas kinematik 0,804 x 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/det, viskositas dinamik ( $\mu$ ) 0,801 x 10<sup>-3</sup> Kg/m.s, nilai viskositas (kekentalan) 8,5x10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/det, dan berat jenis ( $\gamma$ ) 1,00355 gr/cm<sup>3</sup>, serta suhu 29,5°C untuk menunjukkan bahwa properties/karakteristik sampel air yang telah disebutkan dipengaruhi oleh suhu. Variasi debit yang digunakan ada 3 yaitu Q1= 0,004 m<sup>3</sup>/det, Q2 =0,003m<sup>3</sup>/det dan Q3 = 0.002 m<sup>3</sup>/det serta variasi tinggi jatuh (*head*) H1 = 0,5 meter, H2 = 1 meter, dan H3 = 2 meter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh parameter aliran terhadap tekanan dalam jaringan perpipaan bahwa semakin tinggi debit maka tekanannya juga meningkat. Hal ini disebabkan karena kecepatan dan Bilangan Reynold juga meningkat. Sedangkan pengaruh *headloss*, semakin tinggi *headloss* maka tekanan semakin rendah karena semakin jauh titik pengamatannya sehingga terjadi kehilangan energi (*mayor losses* dan *minor losses*). Hubungan parameter non dimensional dari semua parameter menunjukkan hubungan yang sangat signifikan antara P dari hasil pengukuran dan P empiris.

## Abstract

**Experimental Study of Pipeline Network Pressure.** Flow pressure is one of the important factors in the water flow in pipes. If the pressure is low, it will cause problems in the distribution of the pipeline network. However, if the pressure is too large, it will cause a loss of energy. In addition, in the installation of pipelines there will be flow resistance caused by factors of the pipeline installation itself such as flow velocity, changes in pipe dimensions and the presence of bends, as well as changes in the roughness of the pipe material. The flow resistance will cause a decrease in energy and pressure. The purpose of this study is to analyze how much effect the flow parameter has on the pressure in the piping network and obtain dimensionless parameter relationships in the piping network. This study uses experimental research conducted in the Hydraulics laboratory of the Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Hasanuddin in Gowa. The characteristics of the water samples used are density ( $\rho$ ) 1,000 kg/m<sup>3</sup>, kinematic viscosity 0.804 x 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s, dynamic viscosity ( $\mu$ ) 0.801 x 10<sup>-3</sup> Kg/m.s, viscosity value (thickness) 8.5x10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s, and specific gravity ( $\gamma$ ) 1.00355 gr/cm<sup>3</sup>, at water temperature of 29.5°C. There are 3 discharge variations used, namely Q1 = 0.004 m<sup>3</sup>/s, Q2 = 0.003m<sup>3</sup>/s and Q3 = 0.002 m<sup>3</sup>/s and variations in head fall H1 = 0.5 meters, H2 = 1 meter, and H3 = 2 meters. The results show that the effect of flow parameters on the pressure in the piping network is that the higher the discharge, the higher the pressure. This is due to the increasing of speed and Reynolds number. Meanwhile, on the effect of headloss, the higher the headloss, the lower the pressure because the farther the observation point is, thus resulting in energy loss (major losses and minor losses). The non-dimensional parameter relationship of all parameters shows a very significant relationship between P from the measurement results and empirical P.

**Kata Kunci:** Tekanan, debit, tinggi jatuh (*head*), kehilangan energi

## 1. Pendahuluan

Sistem pendistribusian air menggunakan pipa merupakan salah satu alternatif yang memiliki beberapa keuntungan. Keuntungan tersebut diantaranya adalah air mudah diukur dan dikontrol, kualitas air dalam penyaluran tidak tercemar, kehilangan air karena rembesan dapat

dihilangkan, evaporasi sewaktu penyaluran dapat diperkecil, serta mudah dalam operasi dan pemeliharaan

Kebutuhan air yang harus dipenuhi akan menentukan tipe dan ukuran sistem distribusi jaringan pipa yang diinginkan. Bila tekanan rendah, maka akan menimbulkan masalah dalam



pendistribusian jaringan pipa. Namun bila tekanan terlalu besar akan menyebabkan kehilangan energi. Selain itu, dalam instalasi jaringan pipa akan terjadi hambatan aliran yang disebabkan faktor-faktor instalasi jaringan pipa itu sendiri seperti kecepatan aliran, perubahan dimensi pipa dan adanya belokan, serta perubahan kekasaran material pipa. Hambatan aliran akan menyebabkan turunnya energi dan tekanan

Proses perancangan dan perencanaan saluran tertutup (jaringan perpipaan) adalah aspek yang sangat luas dan membutuhkan analisa yang saling terkait satu sama lain antara kebutuhan air (debit), diameter pipa, tinggi jatuh (head), tekanan air, kecepatan air, dan sebagainya. Akibat keterkaitan faktor-faktor tersebut tidak diperhatikan, sehingga beberapa jaringan perpipaan yang ada tidak bekerja secara maksimal. Debit pada jaringan perpipaan berkurang, maka tekanan dan kecepatan juga berkurang. Sehingga aliran fluida di dalam pipa mengalami aliran tidak sempurna atau aliran pada pipa tidak penuh dikarenakan masih ada rongga yang berisi udara [1].

Penelitian ini diarahkan untuk mengetahui pengaruh parameter aliran terhadap tekanan dalam jaringan perpipaan. Untuk tujuan tersebut maka dilakukan penelitian model fisik di laboratorium yang meliputi: (1) mengetahui seberapa besar pengaruh parameter aliran terhadap tekanan dalam jaringan perpipaan. (2) mengetahui hubungan parameter tak berdimensi jaringan perpipaan. Dengan berjalannya penelitian ini, maka diharapkan dapat memperoleh manfaat sebagai berikut: (1) dapat dijadikan sebagai acuan dan informasi para peneliti dalam mengembangkan penelitian yang berhubungan dengan sistem perpipaan air. (2) sebagai referensi untuk pengembangan inovasi model jaringan pipa dalam meningkatkan kinerja jaringan pipa air.

## 2. Landasan Teori

### 2.1. Aliran pada Saluran Tertutup

Saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh [2]. Fluida yang dialirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer.

Apabila zat cair di dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka atau karena tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer, aliran termasuk dalam pengaliran terbuka. Tekanan dipermukaan zat cair di sepanjang saluran terbuka adalah tekanan atmosfer.

Perbedaan mendasar antara aliran pada saluran terbuka dan aliran pada saluran tertutup adalah adanya permukaan yang bebas yang (hampir selalu) berupa udara pada saluran terbuka. Jadi jika pada pipa alirannya tidak penuh sehingga masih ada rongga yang berisi udara maka sifat dan karakteristik alirannya sama dengan aliran pada saluran terbuka [1].

### 2.2. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds ( $Re$ ) merupakan bilangan yang tidak memiliki dimensi yang menjadi faktor penting dalam menganalisa jenis aliran (laminar, turbulen atau transisi) [3].  $Re$  adalah perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya viskositas.

Bilangan Reynolds:

$$Re = \frac{v\rho d}{\mu} = \frac{\text{Gaya inersia}}{\text{viskositae}} \quad (1)$$

dimana,

$Re$  = Bilangan Reynolds

$v$  = kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/det)

$d$  = diameter dalam pipa (m)

$\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$  = viskositas dinamik fluida ( $\text{kg/m}\cdot\text{det}$ )

### 2.3. Kehilangan Energi

Kehilangan energi (*Headloss*) merupakan faktor yang mempengaruhi kapasitas pipa sebagai sarana penghantar aliran baik air maupun pipa [4].

*Headloss* terdiri dari :

a) *Mayor Headloss (major losses)*

*Major Losses* adalah kehilangan pada aliran dalam pipa yang disebabkan oleh friksi yang terjadi disepanjang aliran fluida yang mengalir terhadap dinding pipa.



### b) Minor Headloss (minor losses)

Kehilangan-kehilangan yang terjadi dalam sistem pipa dikarenakan oleh *bends* (tekukan-tekukan), *elbows* (siku-siku), *joints* (sambungan-sambungan), *valves* (klep-klep) dan Lain-lain disebut kehilangan minor [5].

### 2.4. Viskositas

Viskositas suatu fluida adalah ukuran resistensi terhadap laju deformasi [6]. Viskositas atau kekentalan suatu fluida sangat penting dalam penganalisaan kondisi fluida dan gerakan fluida. Zat cair riil adalah zat yang memiliki kekentalan, sedangkan zat cair ideal tidak memiliki kekentalan. Hal ini terjadi karena adanya sifat kohesi antara partikel zat cair. Perbedaan kecepatan partikel dalam medan aliran terjadi karena adanya kekentalan zat cair. Partikel zat cair yang berdampingan dengan dinding batas akan memiliki kecepatan nol atau diam, sedang yang terletak pada suatu jarak tertentu dari dinding akan bergerak. Perubahan kecepatan tersebut merupakan fungsi jarak dari dinding batas. Aliran zat cair riil disebut aliran viskos.

Aliran ini dapat dibedakan menjadi 2 (dua). Apabila pengaruh kekentalan (viskositas) adalah cukup dominan sehingga partikel-partikel zat cair bergerak secara teratur menurut lintasan lurus maka aliran disebut laminar. Aliran laminar terjadi apabila kekentalan besar dan kecepatan kecil. Dengan berkurangnya pengaruh kekentalan atau aliran bertambah kecepatan maka aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen [7].

### 2.5. Tekanan

Fluida memegang peranan penting dalam penyelesaian permasalahan. Tinjauan fluida statis dan fluida dinamis mutlak diperlukan untuk mencari berbagai solusi yang diperlukan. Salah satu hal yang diperhatikan dalam fluida statis adalah tekanan (*pressure*).

Fluida didefinisikan sebagai zat yang mengalami perubahan bentuk bila mendapat tekanan, meskipun tekanan tersebut sangat kecil [8]. Tekanan pada fluida dipancarkan dengan kekuatan sama besar ke semua arah dan bekerja tegak lurus pada suatu bidang. Pada bidang datar yang sama kekuatan tekanan dalam suatu cairan

sama. Pengukuran-pengukuran satuan tekanan yaitu menggunakan berbagai bentuk meteran.

### 2.6. Hukum Bernoulli

Pernyataan Hukum Bernoulli adalah jumlah dari tekanan, energi kinetik tiap volume, dan energi potensial tiap volume di setiap titik sepanjang aliran fluida adalah sama. Artinya, saat aliran fluida meningkat, tekanan fluida tersebut akan turun. Dengan demikian, energi potensial yang dimiliki fluida juga akan turun. Sebaliknya, saat kecepatan aliran fluida turun, tekanan fluida akan naik [9].

Hukum ini dapat diaplikasikan pada berbagai jenis aliran fluida dengan beberapa asumsi, sebagai berikut:

- Fluida tidak dapat dimampatkan (*incompressible*).
- Fluida tidak memiliki kekentalan (*inviscid*).
- Aliran Fluida tidak berubah terhadap waktu (*steady*).
- Aliran fluida laminar (bersifat tetap, tidak ada pusaran).
- Tidak ada kehilangan energi akibat gesekan antara fluida dan dinding. Serta tidak ada kehilangan energi akibat turbulen.
- Tidak ada energi panas yang ditransfer pada fluida baik sebagai keuntungan ataupun kerugian panas.

Persamaan Bernoulli sebagai berikut:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (3)$$

dimana,

- $P$  = Tekanan (Pascal)  
 $\rho$  = Massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $v$  = Kecepatan fluida (m/s)  
 $g$  = gaya gravitasi ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ )  
 $h$  = ketinggian (m)

Hukum Bernoulli sangat bermanfaat dalam kehidupan sehari-hari dan dimanfaatkan pada aplikasi berikut :

#### 2.6.1. Tabung pitot (*pitot tube*)

Tabung pitot adalah instrumen untuk melakukan pengukuran tekanan pada aliran fluida. Tabung pitot ditemukan oleh insinyur berkebangsaan Perancis, Henry Pitot [10] dan dimodifikasi oleh ilmuwan berkebangsaan Prancis, Henry Darcy [11].



Tabung pitot telah digunakan secara luas untuk menentukan kecepatan dari pesawat terbang dan mengukur kecepatan udara dan gas pada aplikasi industri [12]. Kelajuan udara pada pipa dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (4)$$

dimana,

- $v$  = kecepatan pada pitot (m/det)
- $g$  = gravitasi (m/det<sup>2</sup>)
- $h$  = pembacaan tinggi pada tabung pitot (m)

### 2.6.2. Venturimeter

Pada keadaan ideal dalam dinamika fluida persamaan bernoulli dan persamaan kontinuitas merupakan persamaan dasar yang digunakan oleh pipa venturimeter, melalui penjabaran dan substitusi persamaan diperoleh rumus menentukan kelajuan aliran pada pipa venturi meter. Berdasarkan teori kontinuitas bahwa lubang masuk dan keluaran pipa venturimeter yang mempunyai perbedaan ukuran penampang sedemikian teratur maka debit diantara lubang tersebut adalah sama [13].

### 2.7. Model dan Analisa Dimensi

Dengan dibuatnya model akan dapat diprediksi kelakuan dan kerja dari suatu bangunan. Beberapa kekurangan yang tidak diperkirakan akan terjadi dapat segera diketahui dan dapat segera dihindari pada prototip yang direncanakan.

Bentuk sesungguhnya dari bangunan yang diselidiki disebut prototip, dan model bisa lebih

besar, sama besar atau yang biasa dilakukan adalah lebih kecil dari prototip.

## 3. Metode Penelitian

### 3.1. Lokasi Penelitian

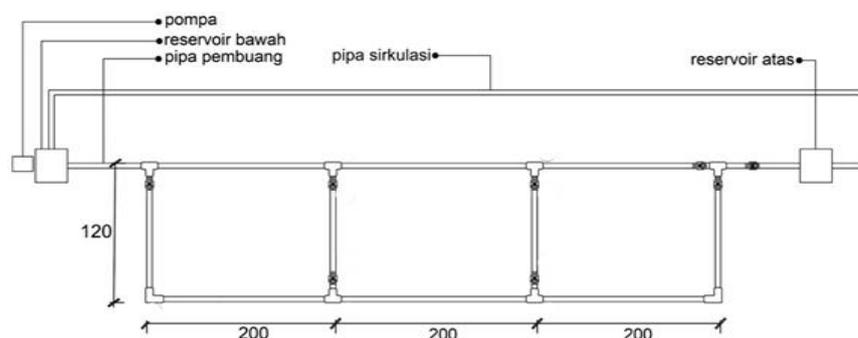
Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil dan Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

### 3.2. Jenis Penelitian

Penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Untuk memperoleh data penelitian, maka sumber data yang di gunakan berasal dari data primer yaitu data yang di peroleh langsung dari simulasi model fisik dilaboratorium dan data sekunder di peroleh dari *literature* dan hasil penelitian yang sudah ada baik yang telah dilakukan di laboratorium maupun dilakukan ditempat lain yang berkaitan dengan penelitian distribusi kecepatan

### 3.3. Rancangan Alat Uji

Untuk melakukan penelitian ini alat uji dirancang berdasarkan teori dan jurnal terdahulu. Alat uji ini dengan skala laboratorium, yaitu penggunaan alat yang hanya ditunjukan untuk pengambilan data dari sampel sedimen yang akan dilakukan penelitian. Rancangan alat uji berupa jaringan pipa lurus panjang 600 cm dan diameter pipa acrylic 6,4 cm.



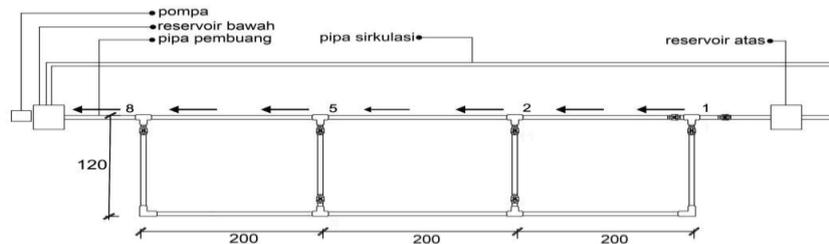
Gambar 1. Set up alat uji

Gambar 1 menunjukkan model set up alat uji berbentuk persegi panjang. Jaringan ini dilengkapi bak penampungan air bawah dan bak penampungan air atas sebagai tempat sirkulasi air, katub sebagai pengatur debit, mesin pompa

air yang mengatur suplai air dari bak penampungan bawah ke penampungan bak atas dan alat ukur kecepatan aliran.

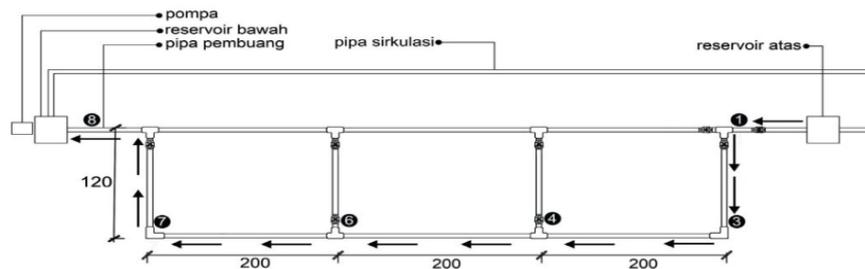
Pengujian dilakukan meliputi 2 (dua) kelompok, sebagai berikut :

### 3.3.1. Pengujian dengan arah aliran pipa lurus



Gambar 2. Arah aliran pipa lurus

### 3.3.2. Pengujian pada pipa belok



Gambar 3. Arah aliran pada pipa belok

Gambar 2 menunjukkan arah aliran air pada pengujian pipa lurus. Gambar 3 menunjukkan arah aliran air pada pengujian pipa belok.

Pengujian pipa ini dimaksudkan untuk mengamati karakteristik aliran yang terjadi dari awal pengaliran (hulu) sampai dengan akhir (hilir) dengan variasi debit ( $Q$ ).

Tahap awal meliputi persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan selama penelitian. Kalibrasi peralatan dilakukan pada tabung pitot manual dan tabung pitot digital untuk mendapatkan hubungan nilai pembacaan alat tersebut.

Kalibrasi tabung pitot manual dilakukan dengan tabung pitot digital serta memasang tabung pitot pada Titik Pengukuran (TP) di pipa pengujian. Dan pitot diletakkan dengan ketinggian yang sama yaitu 2 cm dari dasar pipa pengujian. Catat tinggi tekanan ( $h$ ) pada kedua tabung pitot dengan beberapa kali perubahan debit ( $Q$ ).

Pengujian ini dilakukan berdasarkan tinggi jatuh air atau head yaitu 0,5 meter, 1 meter dan 2 meter. Prosedur pengambilan data sebagai berikut;

a) Penyiapan rangkaian pipa sebagai alat pengujian. Pengujian tahap awal dengan kondisi tinggi jatuh air atau head, yaitu 50 cm digunakan air bersih dan pengujian pada jaringan pipa.

- b) Siapkan air pada reservoir bawah. Mengatur bukaan katub pengaliran sebelum air masuk ke reservoir atas. Katub ini dimaksudkan untuk mendapatkan variasi debit ( $Q$ ) yang digunakan,
- c) Jalankan pompa untuk mensuplai air dari reservoir bawah ke reservoir atas dan dari reservoir atas akan mengalir secara gravitasi ke pipa pengujian dan berakhir ke reservoir bawah. Aliran air akan terus bersirkulasi sampai air di pipa pengujian menjadi konstan atau stabil,
- d) Pada saat aliran telah konstan, ambil debit aliran ( $Q$ ) pada outlet/hulu pipa pengujian dengan cara menampung air selama beberapa waktu yang diinginkan debit aliran ( $Q$ ) diatur dengan bukaan katub sesuai dengan debit aliran ( $Q$ ) yang diinginkan,
- e) Baca penunjukan nilai tinggi tekanan ( $h$ ) pada manometer yang terpasang, kecepatan ( $v$ ) pada tabung pitot dan tinggi muka air ( $m$ ) pada titik titik pengamatan di pipa jaringan.
- f) Ulangi Percobaan prosedur (a) sampai (e) untuk tiap perubahan debit ( $Q$ ), perubahan model pengujian aliran pipa lurus dan pipa belokan.
- g) Data yang diperoleh dari eksperimen dianalisis.

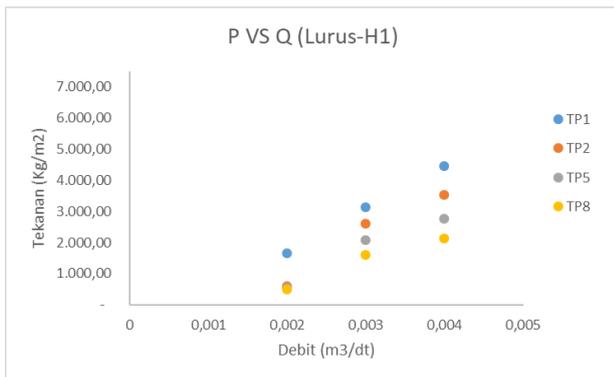
Data yang diperoleh dari percobaan selanjutnya dianalisis dan disimpulkan hasilnya.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

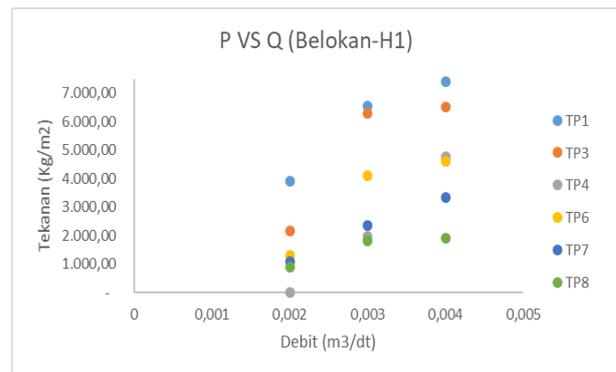
##### 4.1. Pengaruh Parameter Aliran terhadap Tekanan pada Jaringan Perpipaan

##### 4.1.1. Pengaruh Debit

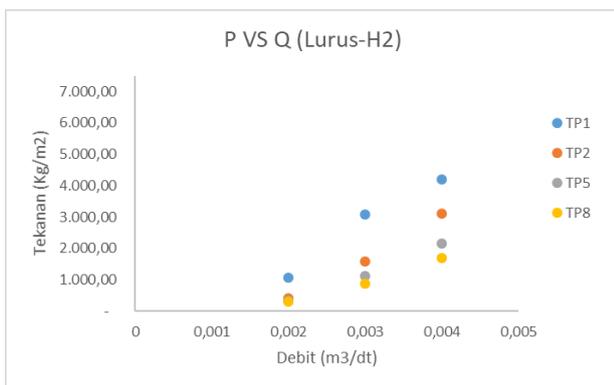
Pengaruh debit terhadap tekanan pada jaingan pipa lurus maupun pipa belok dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



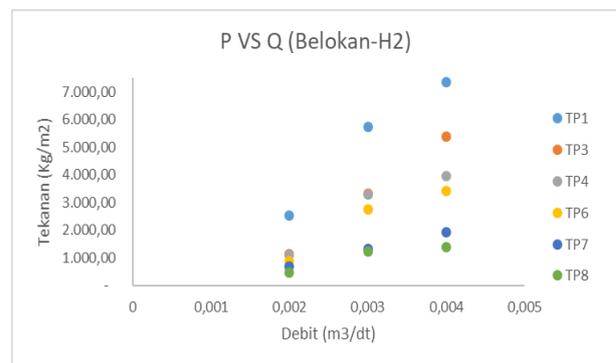
(a)



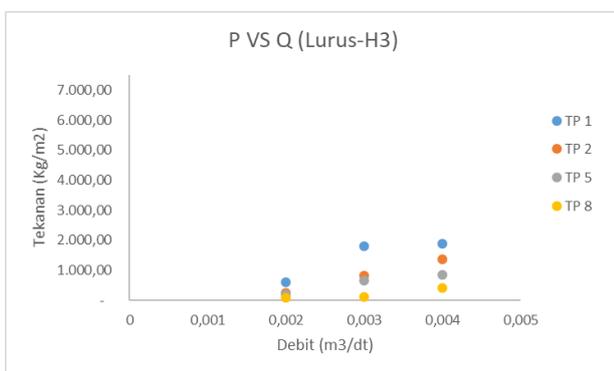
(a)



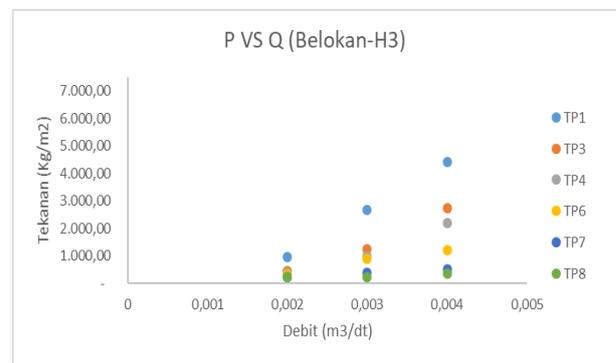
(b)



(b)



(c)



(c)

Gambar 4. Hubungan debit dengan tekanan pada pipa lurus (a) H1, (b) H2, (c) H3

Gambar 4 menunjukkan hubungan debit dengan tekanan. Pada titik TP1 untuk tinggi jatuh

H1 penurunan tekanan dari Q1 ke Q2 sebesar 29,41% dan dari Q2 ke Q3 sebesar 46,88%. Pada titik (TP2) penurunan tekanan dari Q1 ke Q2 sebesar 26,39%, dari Q2 ke Q3 sebesar 76,98%. Titik TP5 terjadi penurunan tekanan dari Q1 ke Q2 sebesar 25,18%, dari Q2 ke Q3 sebesar 73,54%. Begitu juga di titik TP8 terjadi penurunan tekanan dari Q1 ke Q2 sebesar 23,89%, dari Q2 ke Q3 sebesar 69,01%. Sama halnya dengan tinggi jatuh H1, tinggi jatuh H2 dan H3 juga terjadi penurunan tekanan akibat penurunan debit.

Gambar 5. Hubungan debit dengan tekanan pada pipa belok (a) H1, (b) H2, (c) H3

Pada Gambar 5 dapat dilihat di titik TP1 untuk tinggi jatuh H1, penurunan tekanan dari Q1 ke Q2 sebesar 11,70%. Dari Q2 ke Q3 sebesar

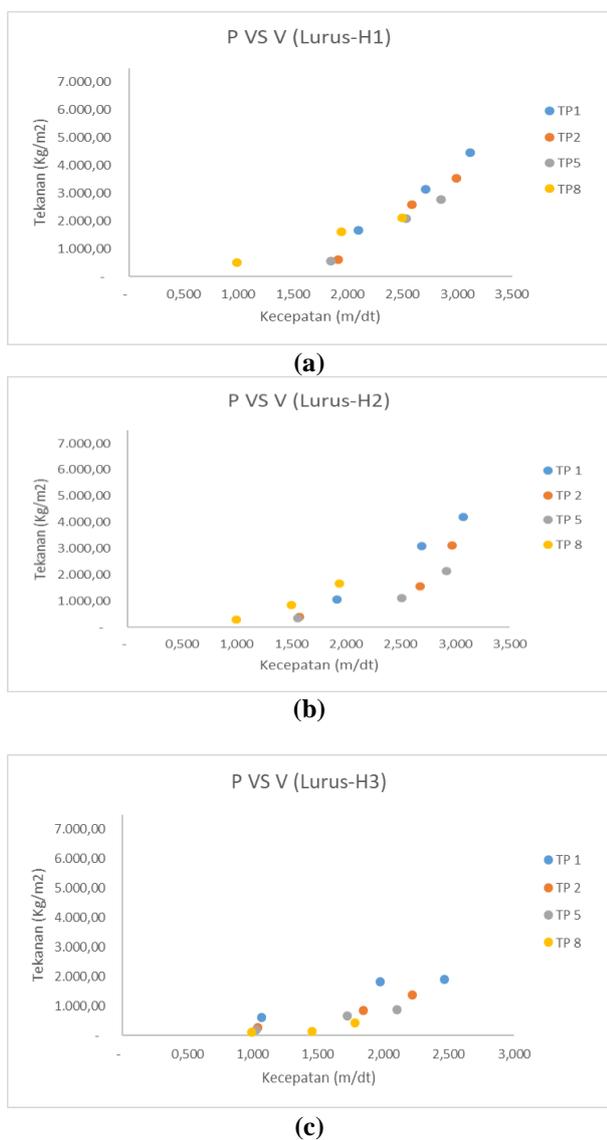


40,30%. Pada titik TP3 untuk tinggi jatuh H1, penurunan tekanan dari Q1 ke Q2 sebesar 3,46%. Begitu juga penurunan tekanan dari Q2 ke Q3 sebesar 65,60%.

TP4, TP6, TP7 dan TP8 juga terjadi penurunan tekanan akibat penurunan debit Q1, Q2, dan Q3. Demikian juga penurunan tekanan yang diakibatkan karena penurunan debit terjadi pada pipa dengan tinggi jatuh H2 dan H3.

#### 4.1.2. Pengaruh Kecepatan

Pengaruh kecepatan aliran terhadap tekanan pada pipa lurus maupun pipa belok dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.

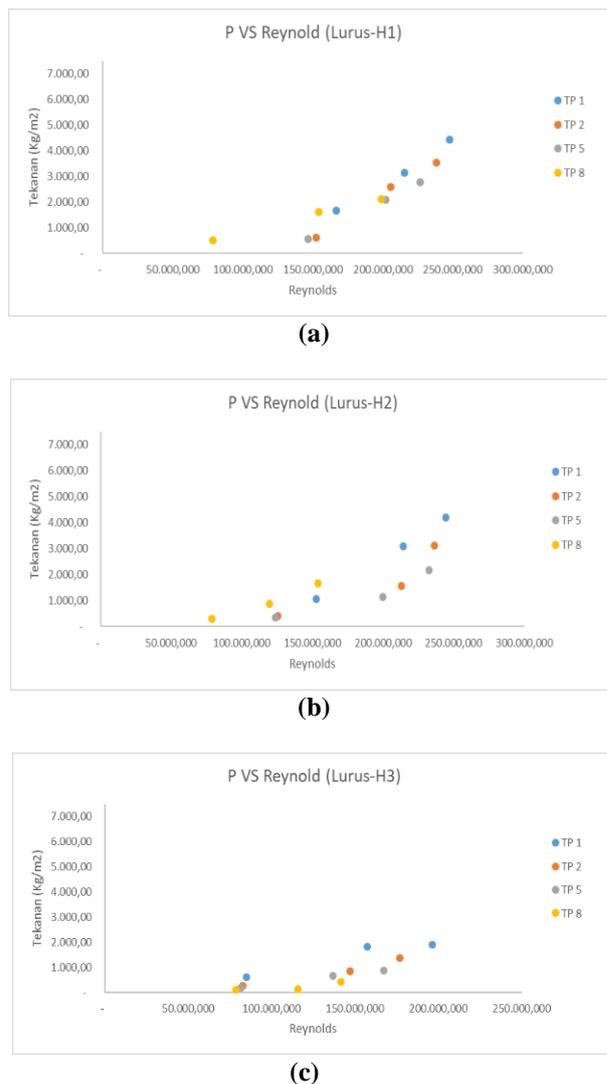


Gambar 6. Hubungan kecepatan dengan tekanan pada pipa lurus (a) H1, (b) H2, (c) H3

Pada Gambar 6 dapat dilihat pada titik TP1 untuk tinggi jatuh H1 penurunan kecepatan dari Q1 ke Q2 sebesar 13,07% dan dari Q2 ke Q3

sebesar 22,61%. Pada titik TP2 penurunan kecepatan dari Q1 ke Q2 sebesar 13,36%, dari Q2 ke Q3 sebesar 25,91%. Titik TP5 terjadi penurunan kecepatan dari Q1 ke Q2 sebesar 10,93%, dari Q2 ke Q3 sebesar 27,32%.

Begitu juga di titik TP8 terjadi penurunan kecepatan dari Q1 ke Q2 sebesar 22,40%, dari Q2 ke Q3 sebesar 48,96%. Sama halnya dengan tinggi jatuh H1, tinggi jatuh H2 dan H3 juga terjadi penurunan kecepatan akibat penurunan debit dan tekanan.



Gambar 7. Hubungan kecepatan dengan tekanan pada pipa belok (a) H1, (b) H2, (c) H3

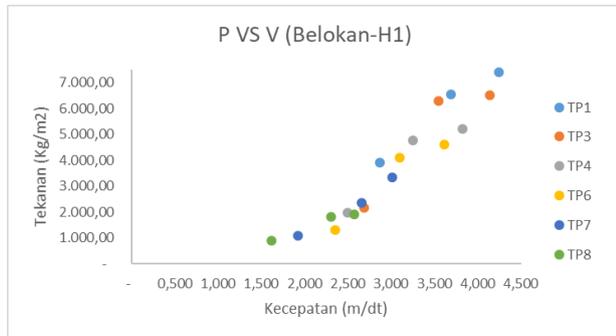
Pada Gambar 7 dapat dilihat di titik TP1 untuk tinggi jatuh H1, penurunan kecepatan dari Q1 ke Q2 yaitu sebesar 13,07%. Dari Q2 ke Q3 yaitu sebesar 22,192%. Pada titik TP3 untuk tinggi jatuh H1, penurunan kecepatan dari Q1 ke Q2 yaitu sebesar 14,39%. Begitu juga penurunan kecepatan dari Q2 ke Q3 yaitu sebesar 24,23%. TP4, TP6, TP7 dan TP8 juga terjadi penurunan



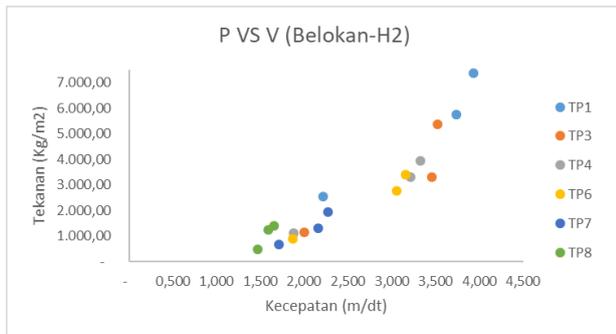
kecepatan. Demikian juga pada pipa dengan tinggi jatuh H2 dan H3 terjadi penurunan kecepatan akibat penurunan debit dan tekanan.

#### 4.1.3. Pengaruh Bilangan Reynold

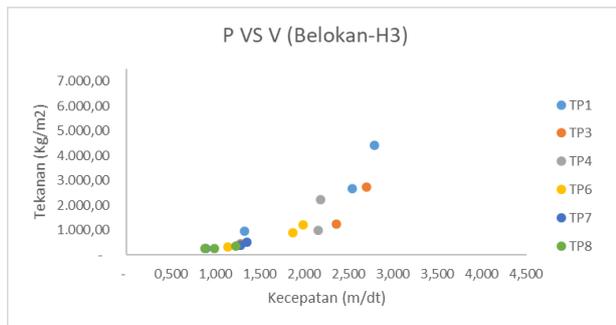
Pengaruh Bilangan Reynold terhadap tekanan pada pipa lurus maupun pipa belok dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.



(a)



(b)

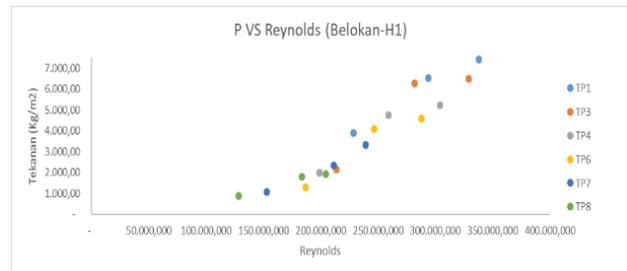


(c)

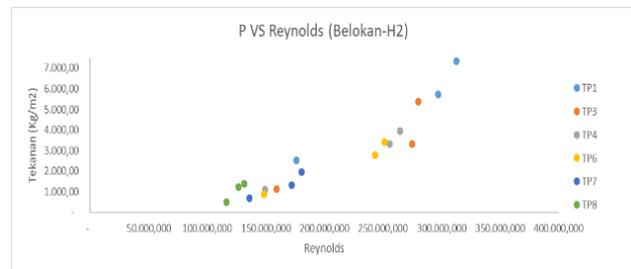
**Gambar 8. Hubungan Bilangan Reynold dengan tekanan pada pipa lurus (a) H1, (b) H2, (c) H3**

Pada Gambar 8 dapat dilihat pada titik TP1 untuk tinggi jatuh H1 penurunan Bilangan Reynold dari Q1 ke Q2 yaitu sebesar 13,07% dan dari Q2 ke Q3 yaitu sebesar 22,61%. Pada titik TP2 penurunan Bilangan Reynold dari Q1 ke Q2 yaitu sebesar 13,36%, dari Q2 ke Q3 yaitu sebesar 25,91%. Titik TP5 terjadi penurunan Bilangan Reynold dari Q1 ke Q2 yaitu sebesar

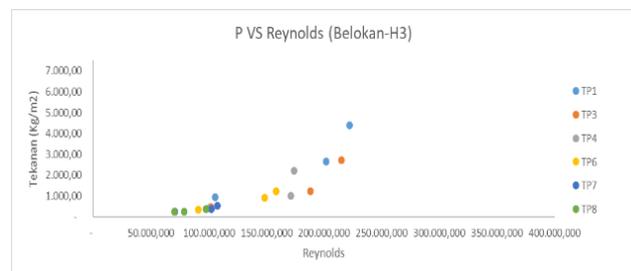
10,93%, dari Q2 ke Q3 yaitu sebesar 27,32%. Begitu juga di titik TP8 terjadi penurunan Bilangan Reynold dari Q1 ke Q2 yaitu sebesar 22,40%, dari Q2 ke Q3 yaitu sebesar 48,96%. Sama halnya dengan tinggi jatuh H1, tinggi jatuh H2 dan H3 juga terjadi penurunan Bilangan Reynold akibat penurunan kecepatan, debit, dan tekanan pada penampang pipa yang sama.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 9. Hubungan Bilangan Reynold dengan tekanan pada pipa belok (a) H1, (b) H2, (c) H3**

Pada Gambar 9 dapat dilihat di titik TP1 untuk tinggi jatuh H1, penurunan Bilangan Reynolds dari Q1 ke Q2 yaitu sebesar 13,07%. Dari Q2 ke Q3 yaitu sebesar 22,192%. Pada titik TP3 untuk tinggi jatuh H1, penurunan Bilangan Reynolds dari Q1 ke Q2 sebesar 14,39%. Begitu juga penurunan Bilangan Reynolds dari Q2 ke Q3 sebesar 24,23%. TP4, TP6, TP7 dan TP8 juga terjadi penurunan Bilangan Reynolds akibat penurunan kecepatan, debit, dan tekanan. Hal sama juga terjadi pada tinggi jatuh H2 dan H3.



#### 4.1.4. Pengaruh Jarak

Pengaruh jarak terhadap tekanan pada pipa lurus maupun pipa belok dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11.



(a)



(b)



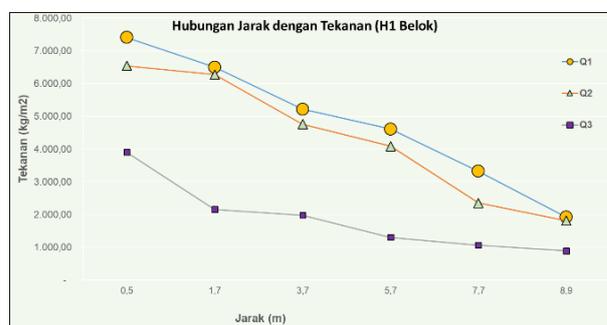
(c)

Gambar 10. Hubungan jarak dengan tekanan pada pipa lurus (a) H1, (b) H2, (c) H3

Pada Gambar 10 dapat dilihat untuk tinggi jatuh H1 penurunan tekanan dari titik TP1 ke TP2, TP5, dan TP8 yaitu dari 4.447,20 kg/m<sup>2</sup> menjadi 3.531,60 kg/m<sup>2</sup>, 2.775,41 kg/m<sup>2</sup>, dan 2.121,41 kg/m<sup>2</sup>. Sama halnya dengan tinggi jatuh H1, tinggi jatuh H2 dan H3 juga terjadi penurunan tekanan. Hal ini disebabkan *headloss*, adanya gesekan fluida pada dinding pipa memanjang (*major losses*) dan adanya sambungan pipa (*minor losses*) sehingga terjadi penurunan pada tekanan, kecepatan, dan Bilangan Reynolds pada penampang pipa yang sama.

Pada Gambar 11 dapat dilihat untuk tinggi jatuh H1 penurunan tekanan dari titik TP1 ke TP3, TP4, TP6, TP7, dan TP8 yaitu dari 7.406,55

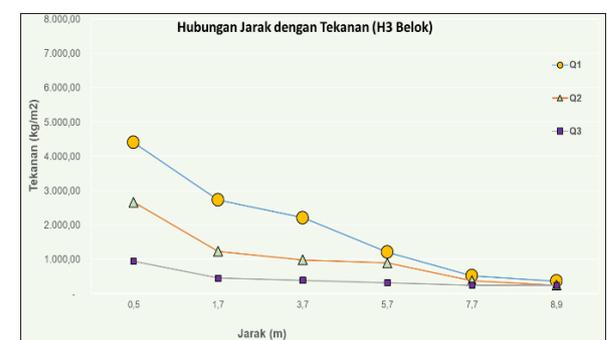
kg/m<sup>2</sup> menjadi 6.499,13 kg/m<sup>2</sup>, 5.215,65 kg/m<sup>2</sup>, 4.610,70 kg/m<sup>2</sup>, 3.323,14 kg/m<sup>2</sup>, dan 1.923,61 kg/m<sup>2</sup>. Sama halnya dengan tinggi jatuh H1, tinggi jatuh H2 dan H3 juga terjadi penurunan tekanan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 11. Hubungan jarak dengan tekanan pada pipa belok (a) H1, (b) H2, (c) H3

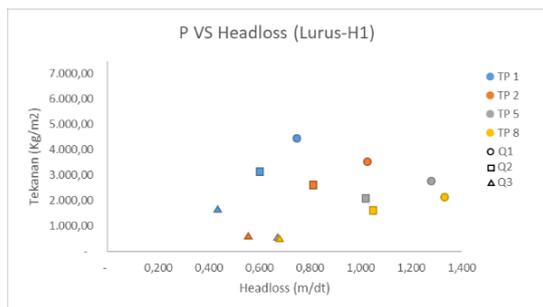
Hal ini disebabkan *headloss*, adanya gesekan fluida pada dinding pipa memanjang (*major losses*) dan adanya sambungan dan belokan pada pipa (*minor losses*) sehingga terjadi penurunan pada tekanan, kecepatan, dan Bilangan Reynolds pada penampang pipa yang sama.

#### 4.1.5. Pengaruh Headloss

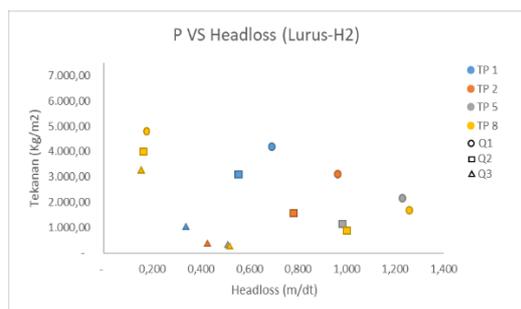
Pengaruh *headloss* terhadap tekanan pada pipa lurus maupun pipa belok dapat dilihat pada Gambar 12 dan 13.



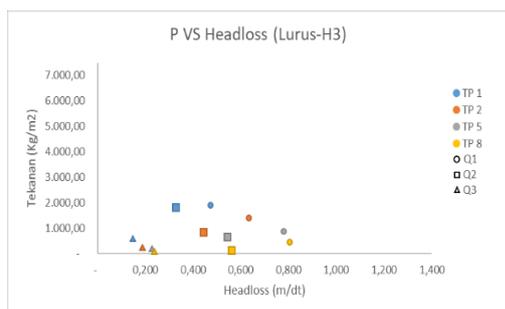
Pada Gambar 12 dapat dilihat pada debit yang sama (Q1) untuk tinggi jatuh H1 terjadi penurunan tekanan dan kenaikan *headloss* dari titik TP1 yaitu tekanan (4.447,20 kg/m<sup>2</sup>) dan *headloss* (0,749 m/det) ke TP2 yaitu tekanan (3.531,60 kg/m<sup>2</sup>) dan *headloss* (1,026 m/det). Dari titik TP2 yaitu tekanan (3.531,60 kg/m<sup>2</sup>) dan *headloss* (1,026 m/det) ke titik TP5 yaitu tekanan (2.775,41 kg/m<sup>2</sup>) dan *headloss* (1,280 m/det). Dan dari titik TP5 yaitu tekanan (2.775,41 kg/m<sup>2</sup>) dan *headloss* (1,280 m/det) ke titik TP8 yaitu tekanan (1.614,56 kg/m<sup>2</sup>) dan *headloss* (1,331 m/det). Hal yang sama juga terjadi pada variasi debit Q2 dan Q3, serta variasi tinggi jatuh H2 dan H3.



(a)



(b)

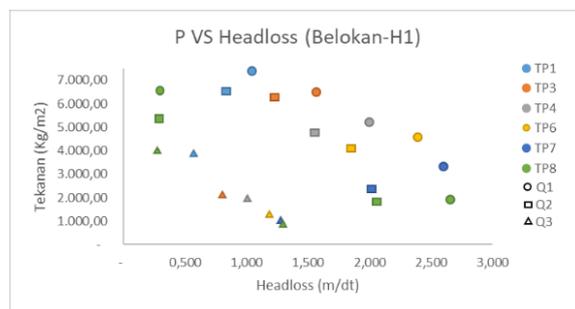


(c)

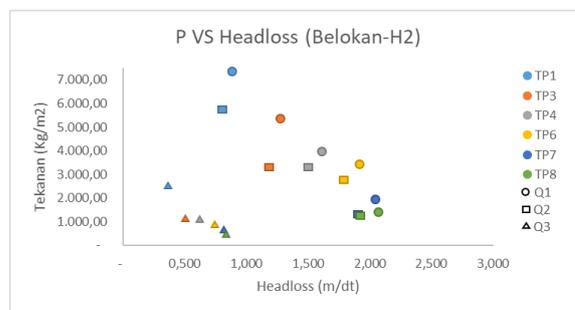
**Gambar 12. Hubungan *headloss* dengan tekanan pada pipa lurus (a) H1, (b) H2, (c) H3**

Pada Gambar 13 dapat dilihat pada debit yang sama (Q1) untuk tinggi jatuh H1 terjadi penurunan tekanan dan kenaikan *headloss* dari titik TP1 yaitu tekanan (7.406,55 kg/m<sup>2</sup>) dan *headloss* (1.040 m/det) ke TP3 yaitu tekanan (6.499,13 kg/m<sup>2</sup>) dan *headloss* (1,566 m/det). Dari titik TP3 yaitu tekanan (6.499,13 kg/m<sup>2</sup>) dan

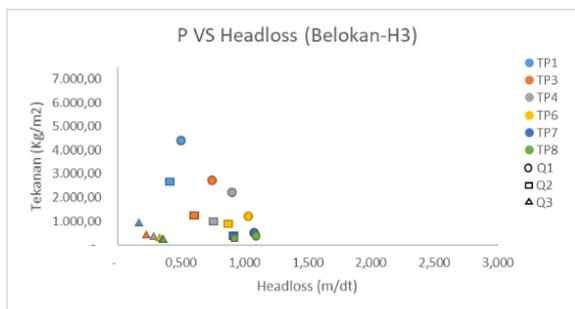
*headloss* (1,566 m/det ke titik TP4 yaitu tekanan (5.215,65 kg/m<sup>2</sup>) dan *headloss* (1,998 m/det). Dari titik TP4 yaitu tekanan (5.215,65 kg/m<sup>2</sup>) dan *headloss* (1,998 m/det) ke titik TP6 yaitu tekanan (4.610,70 kg/m<sup>2</sup>) dan *headloss* (2,389 m/det). Dari titik TP6 ke titik TP7 dan TP8 juga terjadi penurunan tekanan dan peningkatan *headloss*. Hal yang sama juga terjadi pada variasi debit Q2 dan Q3, serta variasi tinggi jatuh H2 dan H3.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 13. Hubungan *headloss* dengan tekanan pada pipa belok (a) H1, (b) H2, (c) H3**

#### 4.2. Analisa Dimensi Metode Buckingham

Bilangan Tak Berdimensi digunakan untuk menggambarkan hasil penelitian, dengan demikian hasil dari penelitian tersebut dapat digeneraliser serta dapat pula digunakan untuk menyatakan hubungan antar parameter [14]. Metode analisis bilangan tak berdimensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Buckingham.



Berdasarkan Metode Buckingham, maka persamaan.

$$\psi = f\left(\frac{Q}{\sqrt{g}D^{2,5}}; \frac{P}{\rho D}; \frac{H}{h}\right) \quad (5)$$

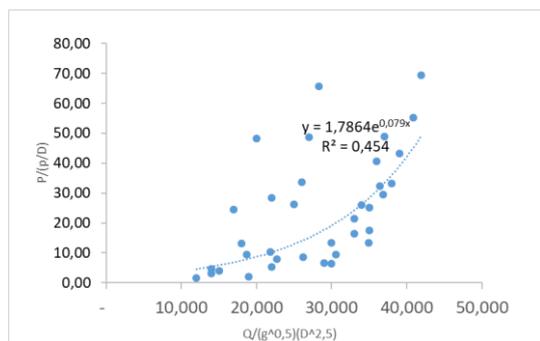
dimana,

- $\frac{Q}{\sqrt{g}D^{2,5}}$  = Faktor Debit
- $\frac{P}{\rho D}$  = Tekanan Hidrostatik
- $\frac{H}{h}$  = Perbandingan *Head* dengan Tinggi Muka Air

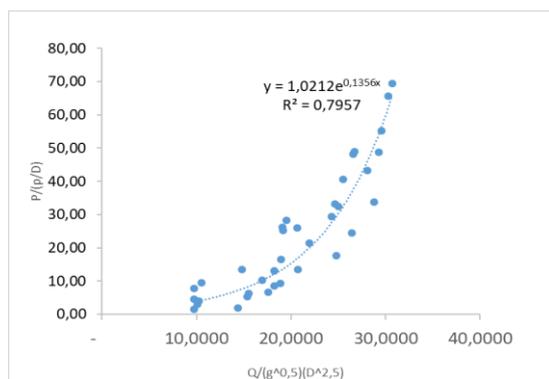
#### 4.2.1. Hubungan Tekanan $\left(\frac{P}{\rho D}\right)$ dengan Debit

$$\left(\frac{Q}{\sqrt{g}D^{2,5}}\right)$$

Berdasarkan hasil pengukuran dan pengolahan data diperoleh grafik hubungan tekanan dengan debit pada Gambar 13.



(a)



(b)

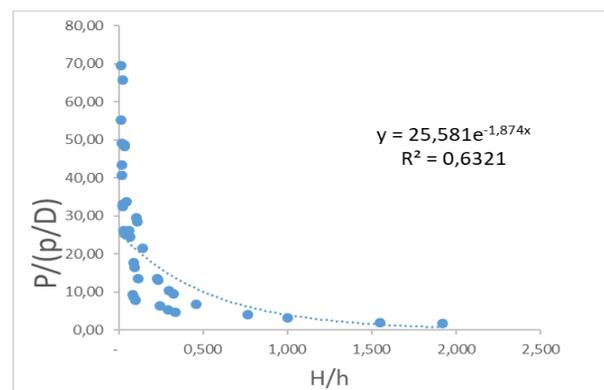
Gambar 14. Hubungan tekanan  $\left(\frac{P}{\rho D}\right)$  dan debit

$\left(\frac{Q}{\sqrt{g}D^{2,5}}\right)$  pada pipa (a) lurus, (b) belok

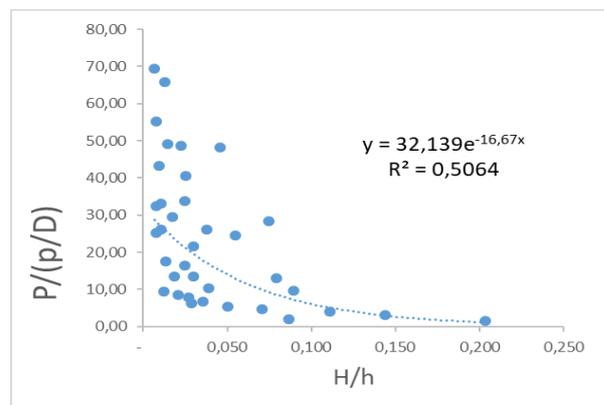
Gambar 14 menunjukkan hubungan tekanan  $\left(\frac{P}{\rho D}\right)$  terhadap debit  $\left(\frac{Q}{\sqrt{g}D^{2,5}}\right)$  pada beberapa titik pengukuran. Semakin besar debit aliran, semakin besar tekanannya (P).

#### 4.2.2. Hubungan tekanan $\left(\frac{P}{\rho D}\right)$ dengan $\left(\frac{H}{h}\right)$

Berdasarkan hasil pengukuran dan pengolahan data diperoleh grafik hubungan pada Gambar 15.



(a)



(b)

Gambar 15. Hubungan tekanan  $\left(\frac{P}{\rho D}\right)$  dan tinggi

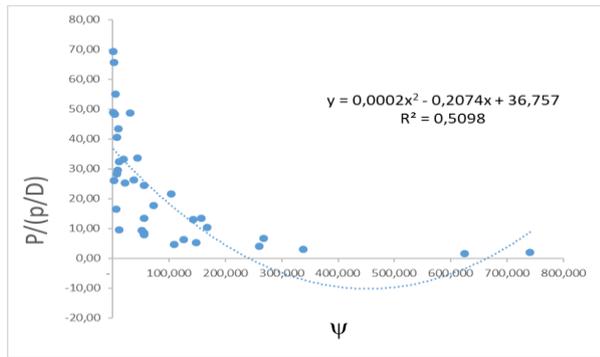
jatuh air  $\left(\frac{H}{h}\right)$  pada pipa (a) lurus, (b) belok

Gambar 15 menunjukkan hubungan tekanan  $\left(\frac{P}{\rho D}\right)$  terhadap tinggi jatuh air  $\left(\frac{H}{h}\right)$  pada titik titik pengukuran. Semakin besar tinggi jatuh air, semakin besar tekanannya.

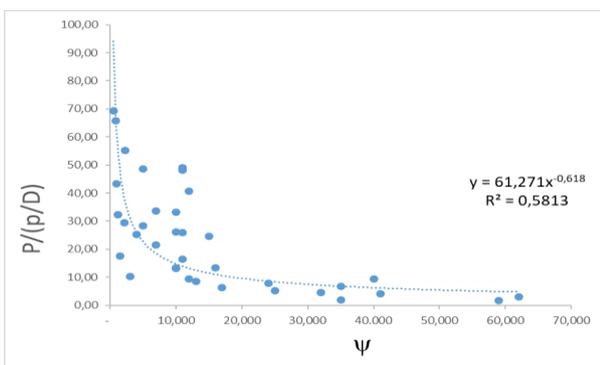


### 4.2.3. Pengaruh bersama ( $\psi$ ) terhadap Tekanan

Hubungan  $\psi$  dengan tekanan dapat dilihat pada Gambar 16.



(a)



(b)

Gambar 16. Hubungan ( $\psi$ ) dengan  $\left(\frac{P}{\rho D}\right)$  pada pipa (a) lurus, (b) belok

## 5. Validasi Hasil

### 5.1. Persamaan Bernoulli

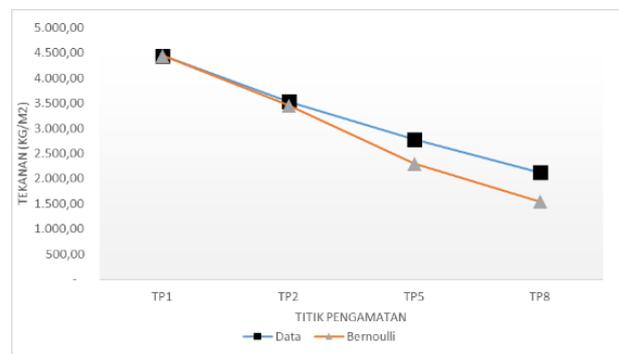
Metode lainnya yang dapat digunakan untuk memvalidasi hasil penelitian atau sebelumnya adalah dengan menggunakan Persamaan Bernoulli. Di dalam praktek, faktor penting dalam studi hidraulika adalah debit, kecepatan, dan tekanan. Pada penelitian ini, diameter pipa dan debit sudah ditentukan, kecepatan dan kehilangan energi juga sudah dihitung, sehingga dengan menggunakan persamaan-persamaan empiris yang ada maka tekanan dapat ditentukan. Dalam hal ini untuk menghitung tekanan secara teoritis digunakan Persamaan Bernoulli. Hasil perhitungan tekanan dengan menggunakan Persamaan Bernoulli ini akan dibandingkan dengan tekanan yang didapatkan dari pengukuran langsung. Rumus tersebut mempunyai bentuk.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_2 + h_L \quad (6)$$

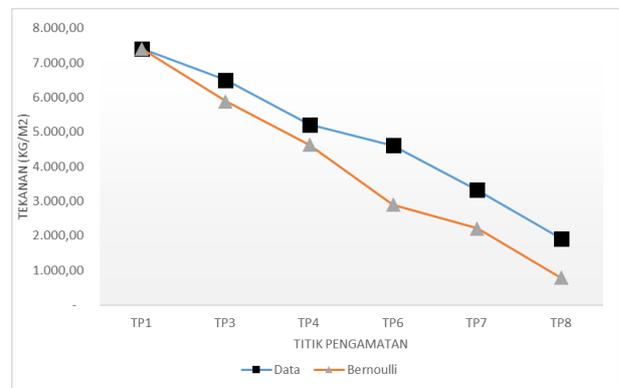
dimana,

- $P$  = Tekanan ( $\text{kg/m}^2$ )
- $\rho$  = Massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )
- $v$  = Kecepatan ( $\text{m/det}$ )
- $g$  = gaya gravitasi ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ )
- $z$  = elevasi titik (m)
- $h_L$  = kehilangan energi ( $\text{m/det}$ )

Perbandingan nilai tekanan antara pengukuran langsung dengan teoritis dengan debit Q1 untuk kondisi pipa lurus dan belok dengan variasi head adalah H1, H2, dan H3 dapat dilihat pada Gambar 17.



(a1)

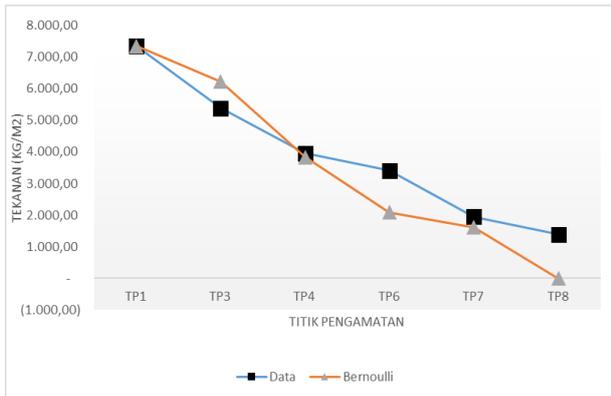


(a2)

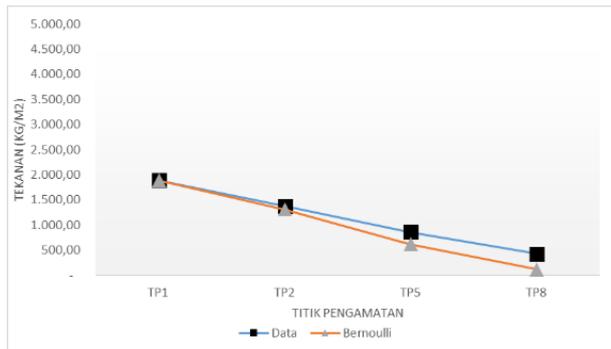


(b1)

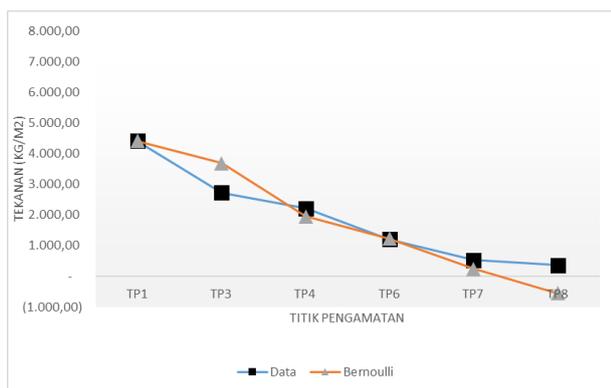




(b2)



(c1)



(c2)

**Gambar 17. Perbandingan tekanan antara pengukuran langsung dengan Metode Analitis (Bernoulli) (a1) Q1H1 pada pipa lurus, (a2) Q1H1 pada pipa belok. (b1) Q1H2 pada pipa lurus, (b2) Q1H2 pada pipa belok. (c1) Q1H3 pada pipa lurus, (c2) Q1H3 pada pipa belok**

Berdasarkan gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai tekanan hasil pengukuran langsung (data) mengikuti pola nilai tekanan analitis dalam hal ini menggunakan Persamaan Bernoulli serta memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh. Salah satu hal yang menyebabkan adanya perbedaan nilai tekanan antara analitis dengan pengukuran langsung karena adanya beberapa parameter yang mempengaruhi persamaan Bernoulli dan pengukuran langsung.

## 6. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal dari hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu : Pengaruh parameter aliran terhadap tekanan dalam jaringan perpipaan bahwa semakin tinggi debit maka tekanannya juga meningkat. Hal ini disebabkan karena kecepatan dan Bilangan Reynold juga meningkat. Sedangkan pengaruh *headloss*, semakin tinggi *headloss* maka tekanan semakin rendah karena semakin jauh titik pengamatannya sehingga terjadi kehilangan energi (*major losses* dan *minor losses*).

## Referensi

- [1] R. J. Kodoatie, *Hidrolika Terapan, Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa*. Yogyakarta: Andi, 2011.
- [2] B. Triatmodjo, *Mekanika Fluida*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, 1992.
- [3] J. Dake, *Hidrolika Teknik*, Terjemahan. Jakarta: Erlangga, 1983.
- [4] Waspodu, "Analisa Head Loss Sistem Jaringan Pipa pada Sambungan Kombinasi Diameter Berbeda," *J. Suara Tek. Fak. Tek. UM Pontianak*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, 2017.
- [5] M. Orianto and W. A. Pratiktok, *Mekanika Fluida I*. Surabaya: Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh November.
- [6] J. R. Welty and et.al, *Dasar-dasar Fenomena Transport Volume 1 Transfer Momen Edisi ke-4*. Jakarta: Erlangga, 2000.
- [7] B. Triatmodjo, *Hidrolika II*. Yogyakarta: Beta Offset, 2003.
- [8] Chorlton, *Fluida Mechanics*. London: Van Nostrand, 1967.
- [9] E. Viandai, "Belajar Fluida, Ingat Hukum Bernoulli," 2019. .
- [10] H. Pitot, *Description d'une machine pour mesurer la vitesse des eaux courantes et le sillage des vaisseaux" Histoire de l'Académie royale des sciences avec les mémoires de mathématique et de physique tirés des registres de cette Académie*. 1732.
- [11] H. Darcy, *Note relative à quelques modifications à introduire dans le tube de Pitot" Annales des Ponts et Chaussées*, Series 3. 1858.
- [12] C. J. Geankoplis, *Transport processes and separation process principles (include unit operations)*, 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003.
- [13] S. R. Pudjiwahyuni, "Mengukur Besar Debit Aliran Fluida pada Pipa Venturimeter," Universitas Katolik Widya Mandala, 1999.
- [14] B. Triatmodjo, *Hidraulika II*. Yogyakarta: Beta Offset, 2015.

