

# Pengaruh Perubahan Debit dan Tinggi Jatuh Terhadap Kehilangan Energi pada Jaringan Perpipaan

Sulhairi<sup>1\*</sup>, Muhammad Saleh Pallu<sup>1</sup>, Bambang Bakri<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: sulhairisunusi@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.112020.09

## Abstrak

Kehilangan energi adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitas pipa sebagai sarana pendistribusi aliran air. Kehilangan energi disebabkan beberapa faktor diantaranya kekasaran dinding pipa yang berkaitan dengan material pipa. Akibat kurang diperhatikannya keterkaitan faktor-faktor ini, beberapa jaringan perpipaan yang ada tidak bekerja secara maksimal atau dengan kata lain jaringan tersebut tidak berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh perubahan debit dan tinggi jatuh (head) terhadap kehilangan energi. Penelitian ini menggunakan penelitian eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin di Gowa. Pengambilan data primer secara analisis kuantitatif dengan pengumpulan data utama melalui pengukuran dengan menggunakan rangkain pipa sebagai model pengujian, serta didahului dengan pengumpulan data pendukung yaitu analisis karakteristik sampel air. Karakteristik sampel air yang digunakan adalah density ( $\rho$ )  $1.000 \text{ kg/m}^3$ , viskositas kinematik  $0,804 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$ , viskositas dinamik ( $\mu$ )  $0,801 \times 10^{-3} \text{ Nd/m}^2$ , nilai viskositas (kekentalan)  $8,5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{det}$ , dan berat jenis ( $\gamma$ )  $1,00355 \text{ gr/cm}^3$ , serta suhu  $29,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Variasi debit yang digunakan ada 3 yaitu  $0,004 \text{ m}^3/\text{det}$ ,  $0,003 \text{ m}^3/\text{det}$ , dan  $0,002 \text{ m}^3/\text{det}$  serta variasi tinggi jatuh (head) 0,5 meter, 1 meter, dan 2 meter. Penelitian dilakukan pada jaringan pipa lurus dan pipa belokan dengan jenis pipa acrylic transparan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar debit menyebabkan kehilangan energi semakin besar pula dan semakin besar tinggi jatuh (head) menyebabkan gradien energi semakin curam sehingga kehilangan energi juga semakin besar.

## Abstract

**The Effect of Changes in Debit and Fall Height on Loss of Energy on the Pipe Network.** Energy loss is one of the factor that influence the pipe capacity as water flow distribution. Energy loss is caused by some factors such as wall pipe coarseness that have connection with material of pipe itself. As a consequence by a low control of this connection, some flow system does not achieve maximal function, in other word this flow system does not deliver what it is supposed to. The heading of this research are how debit and head fluctuating influence energy loss. This research apply experimental research that was held on hidrolika laboratorium, department of civil engineering, engineering faculty Hasanuddin university. Water sample characteristics used were density ( $\rho$ )  $1000 \text{ kg/m}^3$ , kinematic viscosity  $0.804 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ , dinamic viscosity ( $\mu$ )  $0.801 \times 10^{-3} \text{ Nd/m}^2$ , viscosity  $8.5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , and density ( $\gamma$ )  $1.00355 \text{ gr/cm}^3$ , and temperature  $29,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Debit variety used were  $0.004 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ , and  $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$  also head variety (head) 0.5 meter, 1 meter, and 2 meter. This research media is a transparent acrylic pipe system with straight and curve pipe. This research output show that debit increase causes energy loss increase and head increase causes energy gradient more precipitous so that energy loss is increasing.

**Kata Kunci:** Debit air, head jatuh, jaringan perpipaan, kehilangan energi

## 1. Pendahuluan

Aliran dalam fluida pada saluran tertutup merupakan hal yang penting sehingga dibutuhkan proses perancangan dan perencanaan yang optimal. Pipa sebagai media distribusi telah banyak digunakan di industri dan distribusi air PDAM. Kelebihan saluran tertutup (pipa) sebagai pendistribusi air diantaranya kehilangan air sedikit, pemeliharaan juga mudah ketika terjadi penyumbatan, kelebihan lainnya adalah dapat lebih mudah digunakan pada daerah yang

sumbernya lebih tinggi dibanding tempat tujuan, aliran perpipa tidak dipengaruhi oleh udara secara langsung tetapi oleh tekanan hidrolis, lahan yang digunakan tidak luas dan tidak mengganggu aktivitas (*less disruption to current activities*), aman (*safety*) karena saluran tersebut tertutup maka resiko terhadap manusia sedikit jika dibanding saluran terbuka saat cuaca buruk, ukurannya lebih kecil dari saluran terbuka sehingga saluran tertutup lebih fleksibel penempatannya, kualitas air lebih baik



dibanding saluran terbuka karena air yang dialirkan terlindung oleh permukaan pipa.

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), kecepatan, diameter pipa, tinggi jatuh (*head*) tekanan dan sebagainya. Akibat kurang diperhatikannya kehilangan energi ini, beberapa jaringan perpipaan yang ada tidak bekerja secara maksimal atau dengan kata lain jaringan tersebut tidak berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Kehilangan energi adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kapasitas pipa sebagai sarana pendistribusi aliran air.

Salah satu hal penting yang mempengaruhi kinerja jaringan adalah kehilangan energi. Akibat kekeliruan dalam memperhitungkan kehilangan energi ini dapat menyebabkan permasalahan yaitu terkadang apa yang direncanakan kurang sesuai dengan apa yang terjadi di lapangan terutama terkait dengan kapasitas dan tekanan pada jaringan perpipaan sehingga berdasarkan hal-hal tersebut di atas maka kami melaksanakan penelitan ini yang difokuskan pada pengaruh perubahan debit dan tinggi jatuh terhadap kehilangan energi pada jaringan perpipaan.

## 2. Landasan Teori

### 2.1. Aliran pada Saluran Tertutup

Saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh [1]. 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 [2].

### 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.

Rumus bilangan Reynolds adalah:

$$\begin{aligned} Re &= \frac{v\rho d}{\mu} \\ &= \frac{\text{gaya inersia}}{\text{viskositas}} \end{aligned} \quad (1)$$

dimana

*Re* = Bilangan Reynolds

*v* = kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s)

*d* = diameter dalam pipa (m)

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

$\mu$  = viskositas dinamik fluida ( $\text{kg/m.s}$ )

### 2.3. Kehilangan Energi

Kehilangan energi (*Head loss*) merupakan faktor yang mempengaruhi kapasitas pipa sebagai sarana penghantar aliran baik air maupun pipa [4]. *Head loss* terdiri dari :

a) *Major head loss (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 head loss (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 depormasi [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 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 merupakan perkalian antara gaya kompresif yang bekerja pada satuan luas. Satuan tekanan dihasilkan dibagi satuan luas atau  $N/m^2$ , yang adalah pascal, Pa. Namun satuan pascal sangatlah kecil, sehingga lebih sering diekspresikan dalam kilo Pascal (kPa).

$$\rho = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A} \quad (2)$$

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. Kecepatan pada Tabung Pitot

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 ( $kg/m^3$ )
- $v$  = kecepatan fluida
- $g$  = gaya gravitasi ( $m/s^2$ )
- $h$  = ketinggian (m)

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

- 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:

$$v = \sqrt{2gh} \tag{4}$$

b) 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 prototipe yang direncanakan.

Bentuk sesungguhnya dari bangunan yang diselidiki disebut prototipe, dan model bisa lebih besar, sama besar atau yang biasa dilakukan adalah lebih kecil dari prototipe.

3. Metode Penelitian

3.1. Lokasi Penelitian

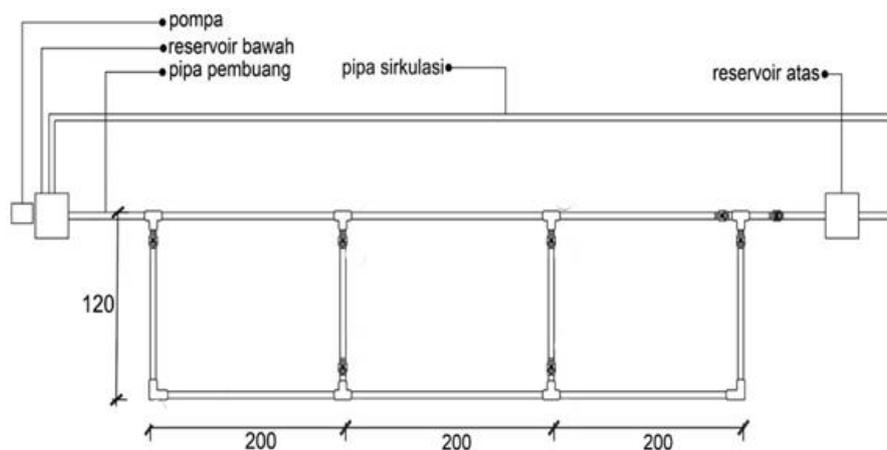
Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil dan Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

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 ditunjukkan 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

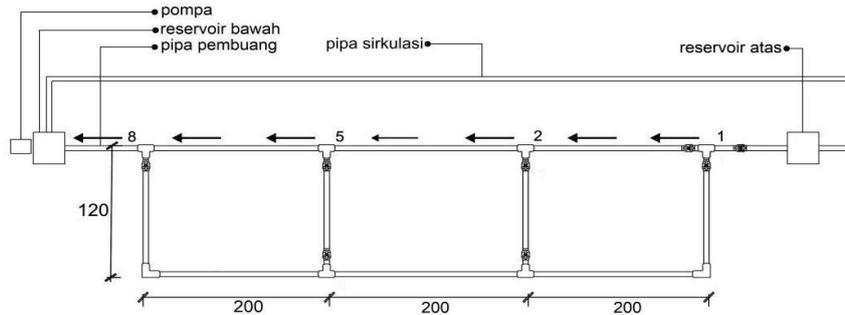
Gambar 1 menunjukkan model set up alat uji berbentuk persegi panjang. Jaringan ini dilengkapi bak penampungan air bawah dan bak penampungan air atas sebagai tempat sirkulasi air, katub sebagai pengatur debit, mesin

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:

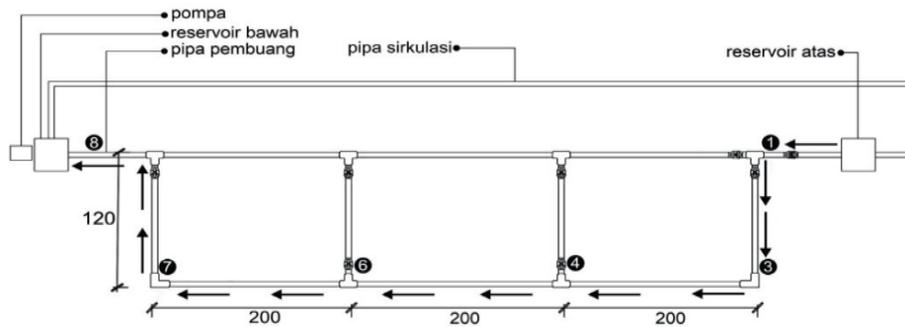


a) Pengujian dengan arah aliran pipa lurus



Gambar 2. Arah aliran pipa lurus

b) Pengujian pada pipa belok



Gambar 3. Arah aliran pada 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 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 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 prosedur (a) sampai (e) untuk tiap perubahan debit ( $Q$ ), perubahan model pengujian aliran pipa lurus dan pipa belokan.

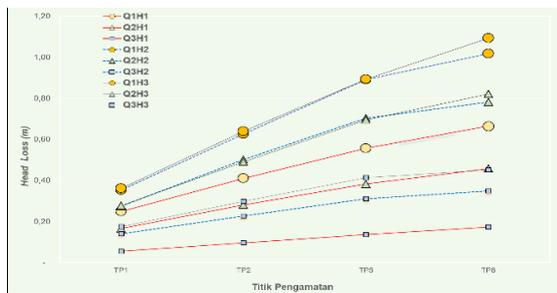
g) Data yang diperoleh dari eksperimen dianalisis.

Data yang diperoleh dari percobaan selanjutnya dianalisis dan disimpulkan hasilnya.

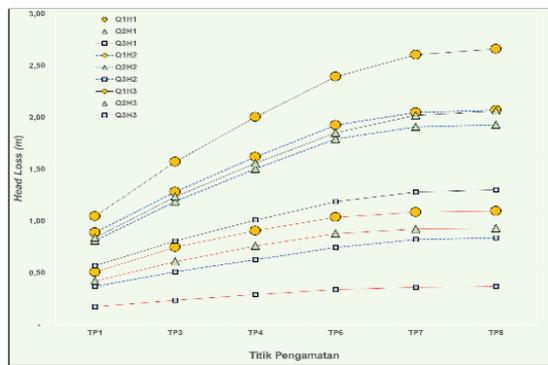
#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1. Pengaruh Perubahan Debit terhadap Kehilangan Energi

Pengaruh debit terhadap kehilangan energi baik pada pipa lurus maupun pipa belok dapat dilihat pada Gambar 4.



(a)



(b)

**Gambar 4. Hubungan debit dan kehilangan energi (a) Pipa Lurus (b) Pipa Belok**

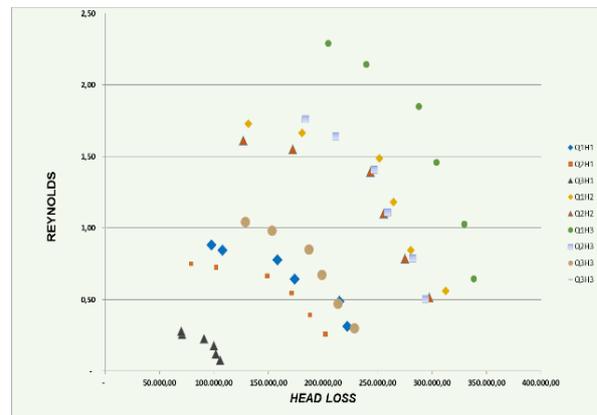
Gambar 4.a menunjukkan total kehilangan energi pipa lurus pada setiap titik pengamatan. Besarnya simulasi penurunan debit yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dari Q1 ke Q2 adalah 25% dan Q2 ke Q3 adalah 33,3%. Sebagai contoh presentase kehilangan energi untuk H1 dari tiap titik pengamatan untuk pipa lurus untuk Q1 ke Q2 dan Q2 ke Q3 secara berturut-turut untuk TP1 adalah 33,62% dan 66,87%, TP2 adalah 31,59% dan 65,96%, TP5 adalah 31,29% dan 64,55%, serta TP8 adalah 31,16% dan 62,18%.

Sedangkan Gambar 4.b menunjukkan total kehilangan energi pipa belok pada setiap titik pengamatan. TP1 adalah 17,98% dan 69,77%,

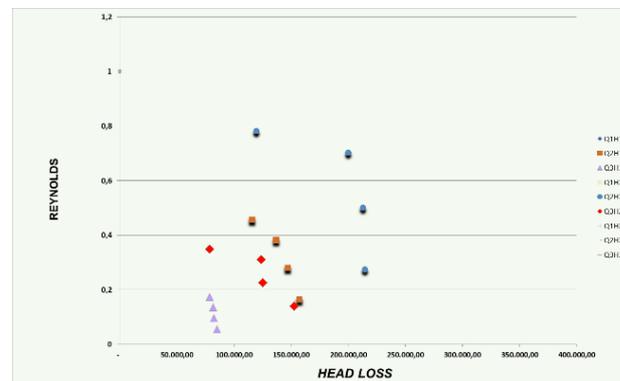
TP3 adalah 19,39% dan 69,10%, TP4 adalah 15,34% dan 67,23%, TP6 adalah 14,54% dan 65,76%, TP7 adalah 14,11% dan 64,31% serta TP8 adalah 14,90% dan 62,77%.

Berdasarkan nilai presentase penurunan ini dapat disimpulkan bahwa akibat perubahan debit pada jaringan mempengaruhi besarnya kehilangan energi. Semakin besar debit maka kehilangan energi (*head loss*) juga semakin meningkat, begitu juga sebaliknya jika debit menurun maka kehilangan energi (*head loss*) juga menurun.

Hal ini disebabkan karena debit yang meningkat menyebabkan massa zat cair yang bergesekan atau berkonstraksi dengan dinding pipa semakin besar jumlahnya sehingga dengan debit yang besar menghasilkan Bilangan Reynold yang besar seperti ditunjukkan pada gambar di bawah.



(a)



(b)

**Gambar 5. Pengaruh Bilangan Reynold terhadap kehilangan energi akibat perubahan debit (a) Pipa Lurus (b) Pipa Belok**

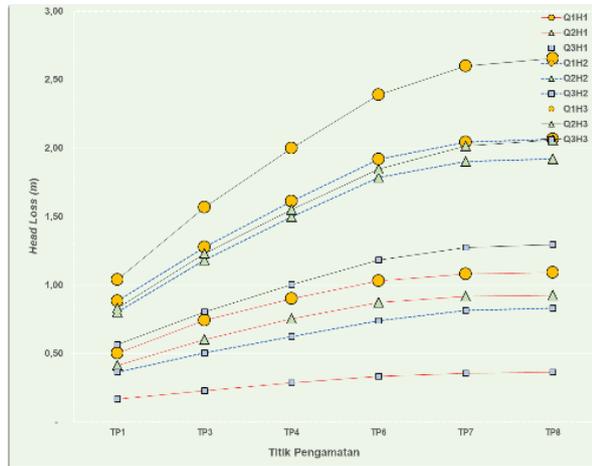
Gambar 5 juga menunjukkan bahwa kehilangan energi di pipa belok lebih besar jika dibandingkan kehilangan pipa lurus hal ini



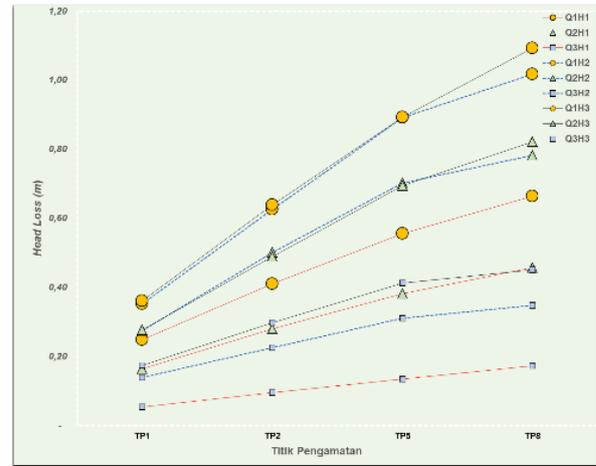
disebabkan karena disamping jaringan pipa lurus lebih panjang jalur gesekan antara air dengan pipa lebih jauh yang menyebabkan kehilangan energi major semakin meningkat, juga jumlah belokan dan kontraksi tiba-tiba lebih banyak sehingga menghasilkan kehilangan energi minor lebih besar.

#### 4.2. Pengaruh Tinggi jatuh terhadap kehilangan energi

Pengaruh tinggi jatuh terhadap kehilangan energi baik pada pipa lurus maupun pipa belok dapat dilihat pada Gambar 6.



(a)



(b)

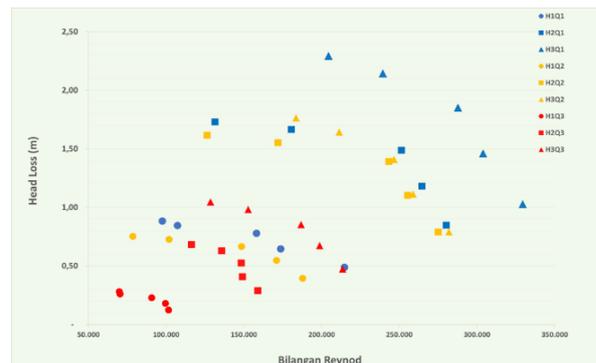
**Gambar 6. Hubungan tinggi jatuh (head) dan kehilangan energi pada pipa belok (a) Pipa lurus (b) Pipa belokan**

Gambar 6.a menunjukkan total kehilangan energi pipa lurus pada setiap titik pengamatan akibat perubahan tinggi jatuh. Sebagai contoh presentase kehilangan energi untuk Q1 dari tiap titik pengamatan untuk pipa lurus untuk H1 ke H2 dan H2 ke H3 secara berturut-turut untuk TP1 adalah adalah 41,98% dan 2,42%, TP2 adalah 52,66% dan 2,05%, TP5 adalah 60,25% dan 0,12%, serta TP8 adalah 53,11% dan 7,41%.

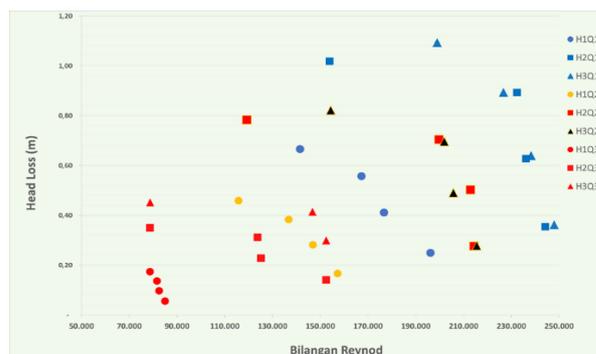
Sedangkan Gambar 6.b menunjukkan total kehilangan energi pipa belok pada setiap titik pengamatan. TP1 adalah 78,64% dan 14,94%, TP3 adalah 73,38% dan 21,60%, TP4 adalah 83,42% dan 23,57%, TP6 adalah 91,65% dan 24,42%, TP7 adalah 96,95% dan 28,91% serta TP8 adalah 95,89% dan 32,55%.

Berdasarkan nilai presentase kenaikan ini dapat disimpulkan bahwa akibat perubahan tinggi jatuh pada jaringan mempengaruhi besarnya kehilangan energi. Semakin besar tinggi jatuh maka kehilangan energi (*head loss*) juga semakin meningkat, begitu juga sebaliknya jika tinggi menurun maka kehilangan energi (*head loss*) juga menurun. Hal ini disebabkan karena peningkatan tinggi jatuh akan menyebabkan peningkatan kecepatan, peningkatan ini menyebabkan meningkatnya Bilangan Reynold yang akhirnya meningkatkan

kehilangan energi pada jaringan menjadi lebih besar seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



(a)



(b)

**Gambar 7. Pengaruh Bilangan Reynold terhadap kehilangan energi akibat perubahan debit (a) Pipa Lurus (b) Pipa Belokan**

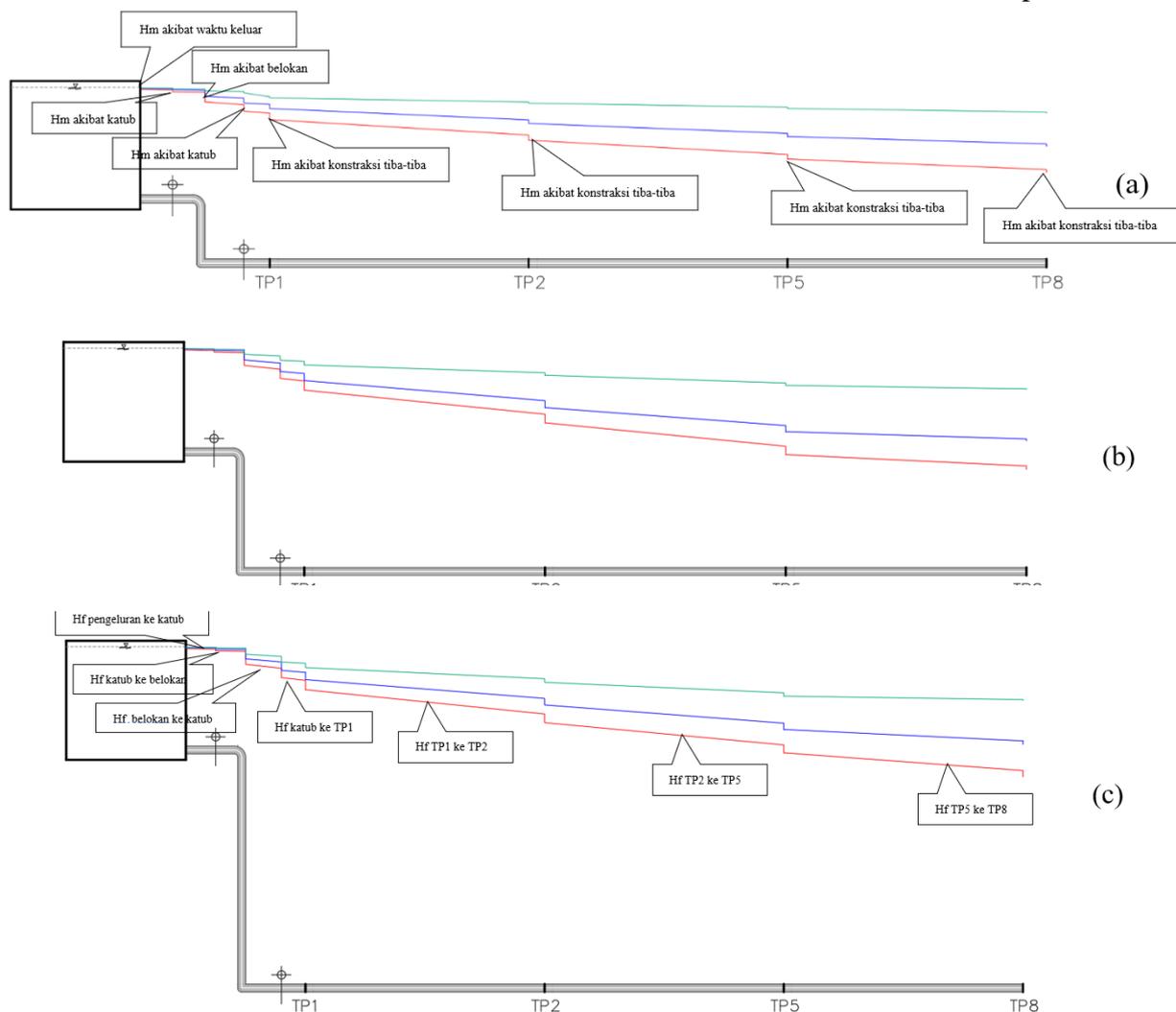


Sama halnya pada Gambar 7 juga menunjukkan bahwa kehilangan energi di pipa belok lebih besar jika dibandingkan kehilangan energi di pipa lurus. Hal ini disebabkan karena disamping jaringan pipa lurus lebih panjang jalur gesekan antara air dengan pipa lebih jauh yang menyebabkan kehilangan energi major semakin meningkat, juga jumlah belokan dan kontraksi tiba-tiba lebih banyak sehingga menghasilkan kehilangan energi minor lebih besar.

## 5. Validasi Hasil

### 5.1. Gradien Energi

Garis Gradien energi adalah garis yang menghubungkan sejumlah titik-titik yang menunjukkan energi yang tersedia pada jalur pipa [14]. Garis gradien merupakan salah satu metode yang dilakukan untuk memvalidasi hasil penelitian ini adalah dengan melakukan perhitungan dan penggambaran gradien energi yang terjadi akibat pengaliran air dalam pipa baik pada pipa lurus, belok, kondisi tinggi jatuh 0.5 m, 1 m 2 m dan variasi debit penelitian.



Gambar 8. Gradien energi untuk Pipa lurus a) H1 = 0,5 m b) H2 = 1m dan c) H3 = 2 m

Gambar 8 menunjukkan garis gradien energi yang dihasilkan dari perhitungan kehilangan energi baik major maupun minor pada pipa lurus. Gambar 8.a menunjukkan gradien energi yang terjadi pada kondisi H1 atau tinggi jatuh 0,5 m. Gambar 8.b menunjukkan gradien energi yang terjadi pada kondisi H2 atau tinggi jatuh 1

m dan Gambar 8.c menunjukkan gradien energi yang terjadi pada kondisi H1 atau tinggi jatuh 0,5 m. Garis warna merah menunjukkan gradien energi pada kondisi Q1 (4 lt/dt), Garis warna biru menunjukkan gradien energi pada kondisi Q2 (3 lt/dt) dan Garis warna hijau menunjukkan gradien energi pada kondisi Q3 (2 lt/dt).

Dari gambar gradien ini dapat dilihat bahwa garis gradien warna hijau (Q3) cenderung lebih landai jika dibanding dengan garis gradien warna biru (Q2) dan garis gradien warna merah (Q1) atau dengan kata lain bahwa total kehilangan wenergi yang tergambar dari gradien hidraulik menunjukkan bahwa Garis Merah (Q1) lebih besar dari Garis Biru (Q2) dan Garis Hijau (Q3) serta Garis Biru (Q2) lebih besar dari Garis Hijau (Q3).

Jika dilihat hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan debit sehingga mengakibatkan kecepatan pada kondisi Q1 lebih besar dari Q2 dan Q2 lebih besar dari Q3. Kecepatan yang lebih besar mengakibatkan kehilangan energi yang lebih besar pula. Hal ini sesuai dengan kesimpulan yang diberikan dari hasil analisa data bahwa debit yang lebih besar akan menyebabkan kehilangan energi yang lebih besar karena jumlah zat cair yang bergesekan dengan penampang pipa jauh lebih padat atau besar.

Disisi lain Gambar 7 juga menunjukkan bahwa perhitungan kehilangan energi yang digambarkan oleh gradien energi untuk setiap kondisi penelitian menunjukkan bahwa total kehilangan energi tidak ada yang melewati elevasi dasar atau datum dari jaringan pipa, sehingga dapat dikatakan bahwa perhitungan kehilangan energi berdasarkan dari data penelitian pada pipa lurus, hal ini memenuhi kondisi batas pada setiap kondisi penelitian baik karena adanya perbedaan Q maupun tinggi jatuh atau head.

## 5.2. Persamaan Manning

Metode lainnya yang dapat digunakan untuk memvalidasi hasil penelitian atau sebelumnya adalah dengan menggunakan Persamaan Manning. Dalam praktek, faktor penting dalam studi hidraulika adalah kecepatan aliran  $V$  atau debit aliran  $Q$ . Dalam hitungan praktis, rumus yang banyak digunakan adalah persamaan

kontinuitas,  $Q = AV$ , dengan  $A$  adalah tampang aliran.

Pada penelitian ini, diameter pipa dan debit sudah ditentukan serta kehilangan tenaga juga sudah dihitung, sehingga dengan menggunakan persamaan-persamaan empiris yang ada maka kecepatan aliran dapat ditentukan. Dalam hal ini untuk menghitung kecepatan aliran secara teoritis digunakan Persamaan Manning. Hasil perhitungan kecepatan dengan menggunakan Persamaan Manning ini akan dibandingkan dengan kecepatan aliran yang didapatkan dari pengukuran langsung. Rumus tersebut mempunyai bentuk [15]:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

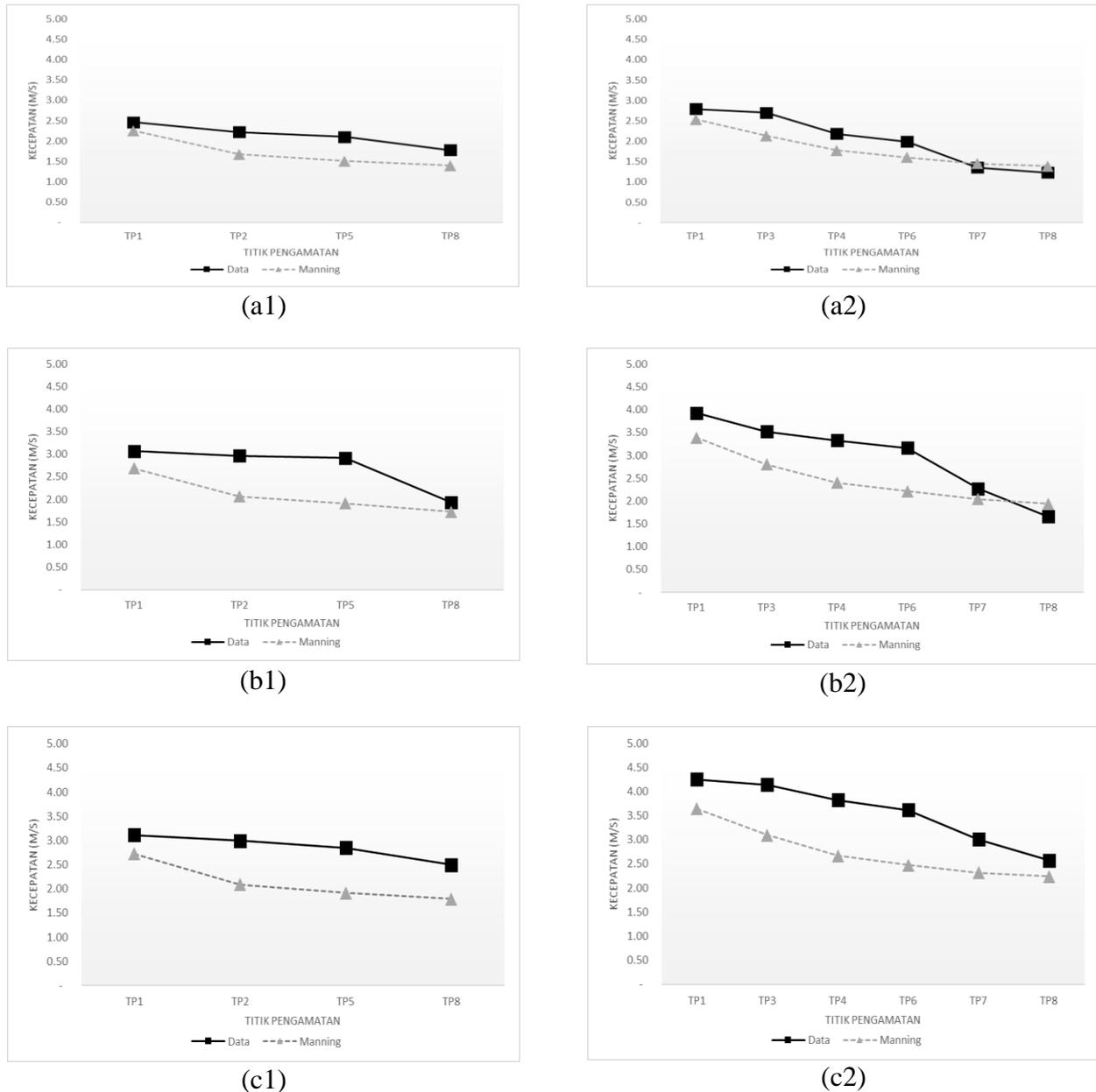
dimana

- $V$  = Kecepatan aliran (m/dt)
- $n$  = Koefisien Manning
- $R$  = Jari-jari hidrolis (m)  
=  $A/P$ (luas penampang/keliling basah),
- $S$  = kemiringan garis enersi,

Selengkapnya perbandingan nilai kecepatan antara pengukuran langsung dengan teoritis dengan debit Q1 untuk kondisi pipa lurus dan belok dengan variasi tinggi jatuh adalah H1, H2 dan H3 selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 8.

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai kecepatan hasil pengukuran langsung (data) mengikuti pola nilai kecepatan analitis dalam hal ini menggunakan Persamaan Manning serta memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh. Salah satu hal yang menyebabkan adanya perbedaan nilai kecepatan antara analitis dengan pengukuran langsung adalah karena koefisien kekasaran Manning yang digunakan dalam metode analitis adalah koefisien untuk material kaca sementara material yang digunakan sebenarnya pada pengukuran langsung adalah terbuat dari acrylic. Sehingga untuk penelitian selanjutnya sangat disarankan untuk melakukan kajian atau analisa tentang koefisien Manning pipa yang terbuat dari acrylic.





**Gambar 9.** Perbandingan kecepatan aliran antara pengukuran langsung dengan Metode Analitis (Manning) a1) Q1H1 pada pipa lurus, a2) Q1H1 pada pipa belok. b1) Q1H2 pada pipa lurus, b2) Q1H2 pada pipa belok. c1) Q1H1 pada pipa lurus, c2) Q1H1 pada pipa belok

## 6. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal dari hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu : Pengaruh perubahan debit terhadap kehilangan energi dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi debit maka tingkat kehilangan energinya juga makin meningkat. Demikian juga sebaliknya semakin kecil debit maka Kehilangan energinya juga semakin menurun. Hal ini disebabkan karena debit yang meningkat menyebabkan massa zat cair yang bergesekan atau berkonstraksi dengan dinding pipa semakin besar jumlahnya. Sedangkan akibat perubahan tinggi jatuh pada

jaringan mempengaruhi besarnya kehilangan energi. Semakin besar besar tinggi jatuh maka kehilangan energi (*head loss*) juga semakin meningkat, begitu juga sebaliknya jika tinggi menurun maka kehilangan energi (*head loss*) juga menurun. Hal ini disebabkan karena peningkatan tinggi jatuh akan menyebabkan peningkatan kecepatan, peningkatan kecepatan menyebabkan meningkatnya Bilangan Reynold yang pada akhirnya akan meningkatkan kehilangan energi pada jaringan menjadi lebih besar.



## Referensi

- [1] B. Triatmodjo, *Mekanika Fluida*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, 1992.
- [2] R. J. Kodoatie, *Hidrolika Terapan, Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa*. Yogyakarta: Andi, 2011.
- [3] J. M. K. Dake, *Hidrolika Teknik*. Jakarta: Erlangga, 1983.
- [4] Waspodo, "Analisa Head Loss Sistem Jaringa 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. Pratikto, *Mekanika Fluida I*. Surabaya: BPFE-Yogyakarta, 1984.
- [6] J. R. Welty, *Dasar-Dasar Fenomena Transport*. Jakarta: Erlangga, 2000.
- [7] B. Triatmodjo, *Hidrolika II*. Yogyakarta: Beta Offset, 2003.
- [8] Charlton, *Fluida Mechanics*. London: Van Nostrand, 1967.
- [9] E. Viandari, "Belajar Fluida, Ingat Hukum Bernoulli," 2019. <https://www.quipper.com/id/blog/mapel/fisika/belajar-fluida-ingat-hukum-bernoulli/%7B%5C%25%7D0A> (accessed Jan. 25, 2021).
- [10] H. Pitot, *Description D'Une Machine Pour Mesurer La Vitesse Des Eaux Courantes Et Le Sillage Des Vaisseaux*. Paris: Histoire de L'académie Royale des Sciences, 1732.
- [11] H. Darcy, "Note Relative À Quelques Modifications À Introduire Dans Le Tube De Pitot," *Ann. des Ponts Chaussées*, pp. 351–359, 1858.
- [12] C. J. Gean koplis, *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. K. M. Syahril, *Mekanika Fluida dan Hidrolika*. Bandung: Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung, 2012.
- [15] Sayutman, *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Erlangga, 1985.

