

Studi Eksperimental Kecepatan Aliran *Slurry* pada Saluran Tertutup

Muhammad Taufiq Akbar^{1*}, Sulhairi¹, Muhammad Arsyad Thaha¹, Bambang Bakri¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

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

*Email: taufiq.m4@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052021.06

Abstrak

Dalam suatu aliran yang melewati sistem atau instalasi jaringan pipa air limbah akan terjadi hambatan aliran yang disebabkan oleh faktor-faktor instalasi jaringan pipa itu sendiri seperti perubahan kecepatan, perubahan penampang (dimensi pipa, belokan, sambungan) dan perubahan kekasaran permukaan. Hambatan aliran akan menyebabkan turunnya energi dan tekanan. Sumber dari *self head loss* dan *limit deposit velocity* (DHLLDV) yaitu (1) kehilangan energi pada regime fixed atau stationary flow yang di sebabkan oleh turbulensi aliran bed; (2) kehilangan energi pada regime sliding bed yang di sebabkan oleh sliding friction benda padat pada dinding pipa; (3) kehilangan energi pada regime heterogeneous akibat energi potensial (gravitasi) dan energi kinetik (tumbukan benda padat dengan dinding pipa); (4) kehilangan energi pada regime homogen disebabkan oleh turbulensi partikel besar; (5) kehilangan energi pada regime sliding yang disebabkan oleh sliding friction, energi potensial dan energi kinetik. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mendapatkan besaran pengaruh parameter aliran slurry terhadap regime aliran pada pipa lurus dan pipa belok. 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. Variasi debit yang digunakan ada 3 yaitu 0,004 m³/det, 0,003m³/det, dan 0,002 m³/det serta tinggi jatuh (head) 0,5 meter. Air yang mengandung partikel padat atau sedimen (*slurry*) yang mengandung sedimen seragam berupa pasir dengan ukuran 0,15 mm, 0,25 mm dan 0.42 mm.

Abstract

Experimental Study of Slurry Flow Velocity in Closed Channels. In a flow that passes through the system or installation of a wastewater pipeline network, there will be flow resistance caused by factors such as changes in velocity, changes in cross-section (pipe dimensions, bends, connections) and changes in surface roughness. The flow resistance will cause a decrease in energy and pressure. The sources of self head loss and limit deposit velocity (DHLLDV), namely (1) energy loss in fixed or stationary flow regimes caused by bed flow turbulence; (2) loss of energy in the sliding bed regime caused by sliding friction of solid objects on the pipe wall; (3) energy loss in heterogeneous regimes due to potential energy (gravity) and kinetic energy (collision of solid objects with pipe walls); (4) energy loss in the homogeneous regime is caused by large particle turbulence; (5) loss of energy in the sliding regime caused by sliding friction, potential energy and kinetic energy. The purpose of this study is to obtain the magnitude of the influence of slurry flow parameters on the flow regime in straight pipes and curved pipes. The primary data collection is quantitative analysis with the main data collection through measurements using a series of pipes as a test model, and is preceded by the collection of supporting data, namely the analysis of the characteristics of the water sample. There are 3 variations of discharge used, namely 0.004 m³/s, 0.003m³/s, and 0.002 m³/s and a 0.5 meter head fall Water containing solid particles or sediment (*slurry*) containing uniform sediment in the form of sand with sizes 0.15 mm, 0.25 mm and 0.42 mm.

Kata Kunci: Debit, kehilangan energi, tinggi jatuh (head)

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 turunya 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 penelitian 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.

Bilangan Reynolds:

$$Re = \frac{v\rho d}{\mu} \quad (1)$$

$$= \frac{\text{Gaya inersia}}{\text{viskositas}}$$

dimana,

- Re = Bilangan Reynolds
- v = kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s)
- d = diameter dalam pipa (m)
- ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)
- μ = viskositas dinamik fluida (kg/m.s)

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 depormasi [6]. Viskositas atau kekentalan suatu fluida sangat penting dalam analisa kondisi 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 memiliki kecepatan nol atau diam, sedang yang terletak pada jarak tertentu dari dinding akan bergerak. Perubahan kecepatan tersebut merupakan fungsi jarak 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 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)
- ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)
- v = Kecepatan Fluida
- g = gaya gravitasi ($g = 9,8 m/s^2$)
- h = ketinggian (m)

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

a) 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 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.

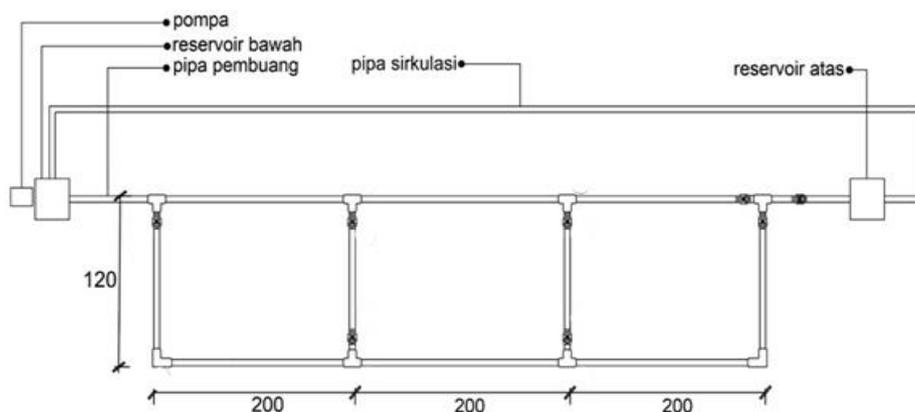
3.2. Jenis Penelitian

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 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.

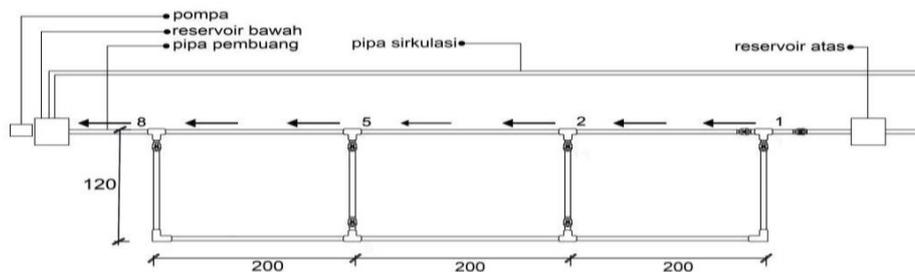
Gambar 1 menunjukkan model set up alat uji berbentuk persegi panjang. Jaringan ini dilengkapi bak penampungan air bawah dan bak penampungan air atas sebagai tempat sirkulasi air, katub sebagai pengatur debit, mesin pompa air yang mengatur suplai air dari bak penampungan bawah ke penampungan bak atas dan alat ukur kecepatan aliran.



Gambar 1. Set up alat uji

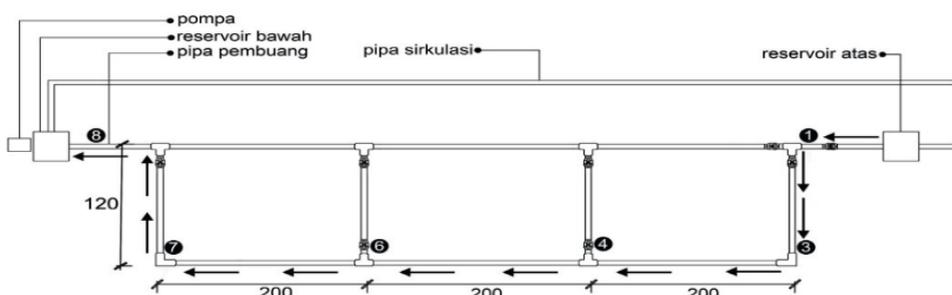
Pengujian dilakukan meliputi 2 (dua) kelompok, sebagai berikut :

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 Pegukuran (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.

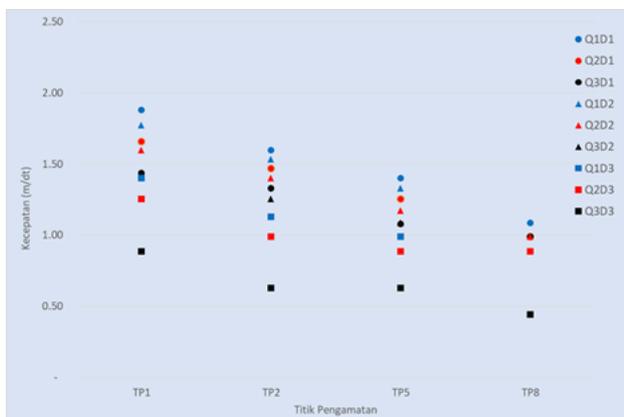
- b) Siapkan air pada reservoir bawah. Mengatur bukaan katub pengaliran sebelum air masuk ke reservoir atas. Katub ini dimaksudkan untuk mendapatkan variasi debit (Q) yang digunakan,
- c) Jalankan pompa untuk mensuplai air dari reservoir bawah ke reservoir atas dan dari reservoir atas akan mengalir secara 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

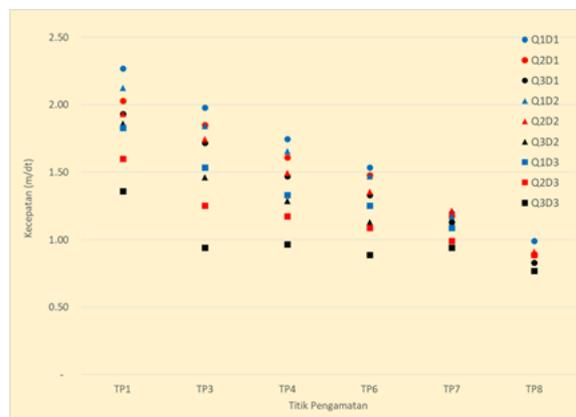
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengaruh Parameter Aliran Slurry

Pengaruh Kecepatan pada pipa lurus maupun pipa belok dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar 4(a) menunjukkan total penurunan kecepatan pipa lurus pada setiap titik pengamatan.



(a)



(b)

Gambar 4. Pengaruh kecepatan pada (a) Pipa lurus (b) Pipa belokan

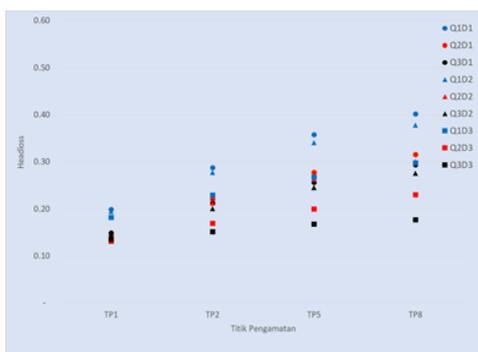
Besarnya simulasi penurunan kecepatan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu tiap titik pengamatan untuk pipa lurus untuk Q1 ke Q2 dan Q2 ke Q3 secara berturut-turut untuk TP1 dengan D1 (0,15 mm) adalah 11,81% dan 13,36%. TP2 adalah 8,01% dan 9,55%, TP5 adalah 10,56% dan 13,90%, serta TP8 adalah 8,71% dan 1,01%.

Sedangkan Gambar 4(b) menunjukkan penurunan kecepatan pipa belok pada setiap titik pengamatan pada D1 (0,15 mm). TP1 adalah 10,56% dan 4,88%, TP3, TP4, TP6, TP7 dan TP8 juga terjadi penurunan kecepatan akibat penurunan debit Q1, Q2, dan Q3. Demikian juga penurunan kecepatan yang diakibatkan karena

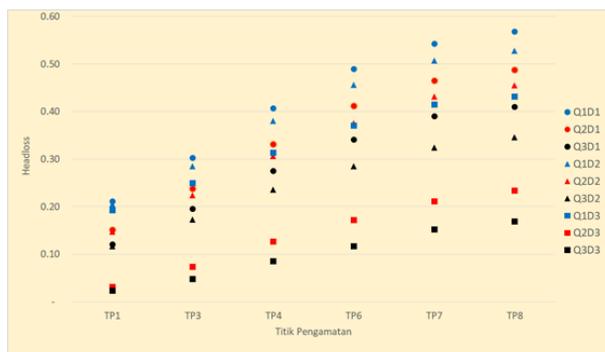
penurunan debit terjadi pada pipa D2= 0,25mm dan D3 =0,42 mm

Berdasarkan nilai presentase penurunan ini dapat disimpulkan bahwa akibat perubahan debit pada jaringan mempengaruhi besarnya penurunan kecepatan.

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 5.



(a)



(b)

Gambar 5. Hubungan debit terhadap kehilangan energi akibat perubahan debit (a) Pipa lurus (b) Pipa belokan

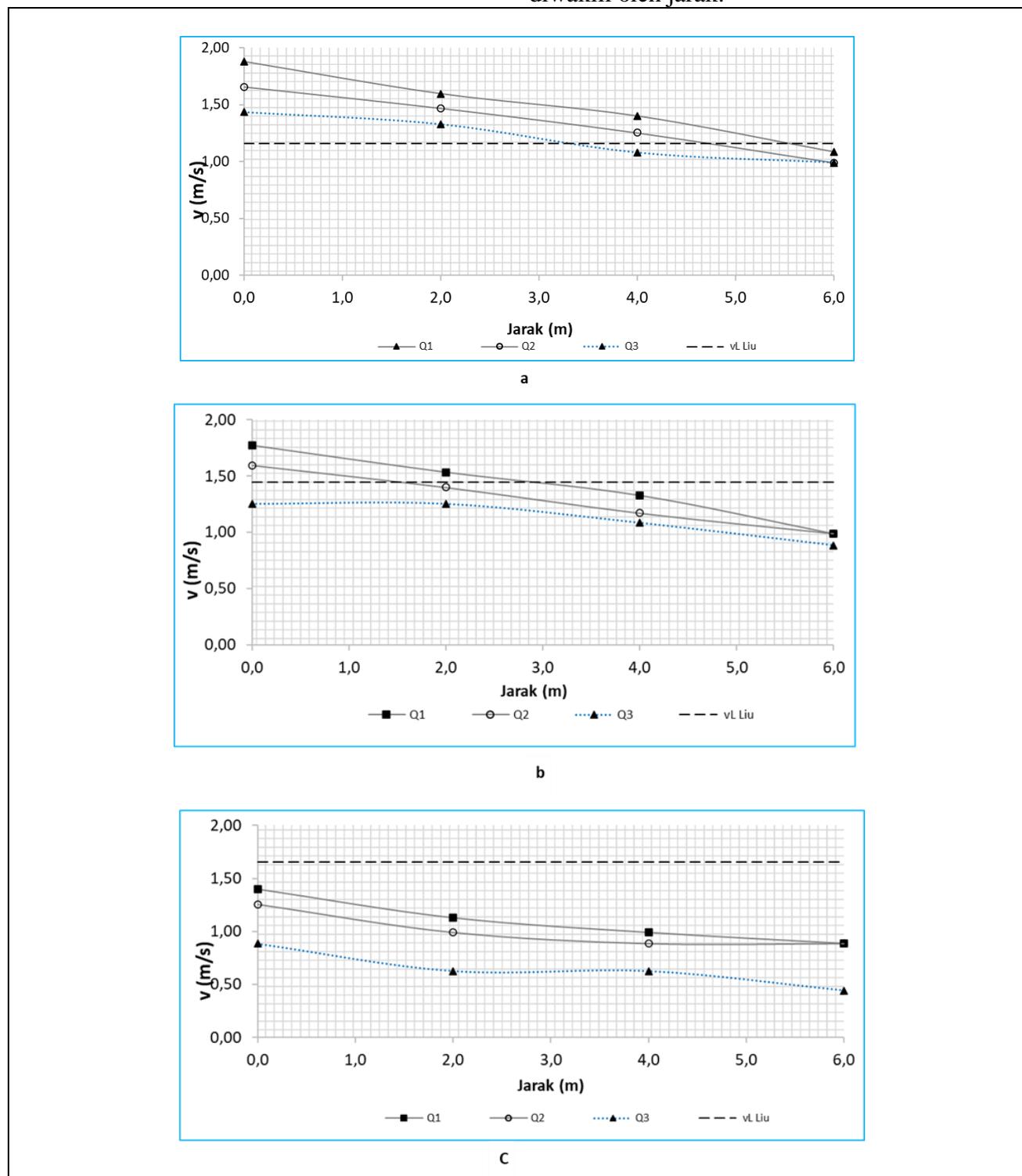


Gambar 5 juga menunjukkan bahwa kehilangan energi di pipa belok lebih besar jika dibandingkan kehilangan pipa lurus hal ini disebabkan karena disamping jaringan pipa lurus lebih panjang jalur gesekan antara air dengan pipa lebih jauh yang menyebabkan kehilangan energi mayor semakin meningkat, juga jumlah belokan dan kontraksi tiba-tiba

lebih banyak sehingga menghasilkan kehilangan energi minor lebih besar.

4.2. Regime Aliran Pipa Belok

Gambar 6 menunjukkan kondisi kecepatan aliran slurry (V_s) dan kecepatan aliran pengendapan (V_L) pada perubahan laju aliran masuk (Q) pada setiap titik pengamatan yang diwakili oleh jarak.



Gambar 6. Distribusi V_s dan V_L (a) $d_{0,15}$, (b) $d_{0,25}$ dan (c) $d_{0,42}$ pada Pipa lurus

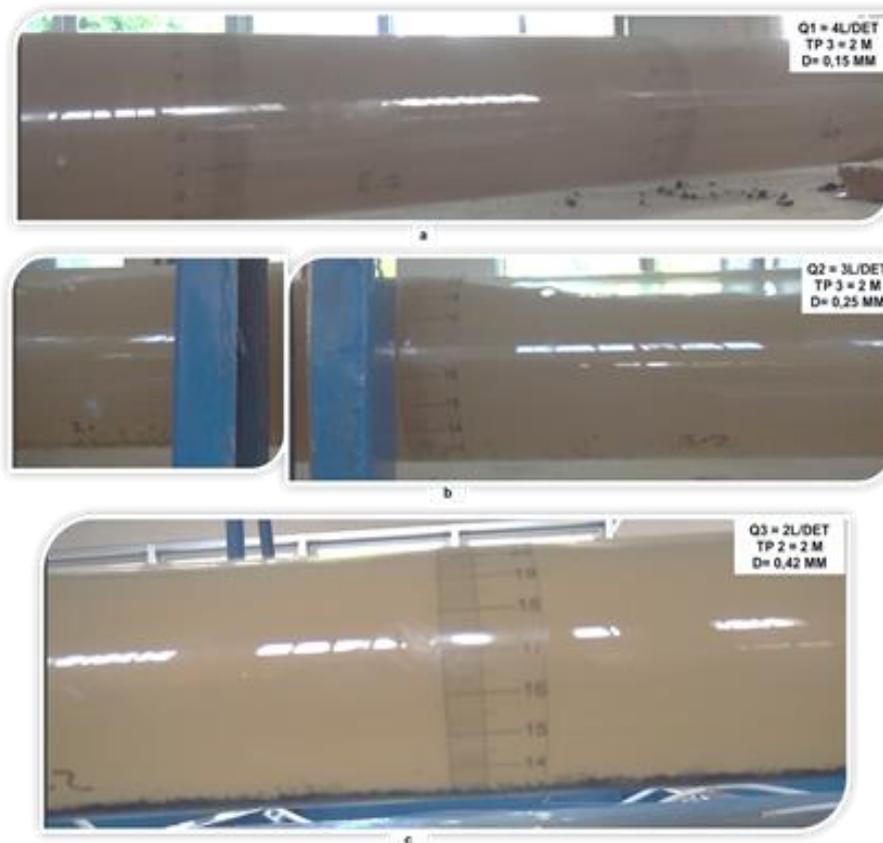


Gambar 6.a sedimen $d_{0,15}$ v_s slurry berada pada 1,88 m/sec- 0,63 m/sec. Kecepatan laju aliran Q1 berada regime *heterogeneous* dimana kecepatan awal pada pengaliran dalam pipa masih cukup tinggi atau turbulennya masih mampu mensuspensi aliran sedimen tersebut sampai di akhir pengaliran. Laju aliran aliran Q2 dan Q3 dari regime *heterogeneous* ke regime *moving bed flow* pada L 5 m (segmen 3) dan jarak 3,5 m (segmen 2), dan bergerak dengan cara *sliding* sampai di akhir pengaliran.

Sedangkan Gambar 6.b sedimen $d_{0,25}$ mm laju aliran berada pada 1,77 m/sec - 0,89 m/sec (Gambar 4.10.b) Laju aliran Q1 dan Q2 terjadi perubahan regime dari regime *heterogeneous* ke regime *moving bed flow* pada jarak 3 m (segmen 2) dan jarak 2 m (segmen 1), dan bergerak

dengan cara *sliding* sampai di akhir pengaliran. Laju aliran Q3 berada pada *moving bed flow* bergerak dengan cara *sliding* sampai di akhir pengaliran.

Pada Gambar 6.c, pada sedimen $d_{0,42}$ laju aliran berada pada 1,47 m/s - 0,44 m/s, laju aliran berada *moving bed flow* pada Q1 dan Q2 transpor sedimen dengan cara *sliding* tidak menghasilkan regime *stationary bed flow*, tetapi durasi waktu yang lebih lama di butuhkan untuk sampai ke pengaliran akhir. Laju aliran Q3 berada pada regime aliran dasar tetap atau regime *stationary bed flow*. Regime *stationary bed flow* dapat menyebabkan sedimen tinggal yaitu endapan sedimen yang terjadi karena ketidak mampuan kecepatan aliran (V_s) membawa sedimen yang terkandung dalam aliran.

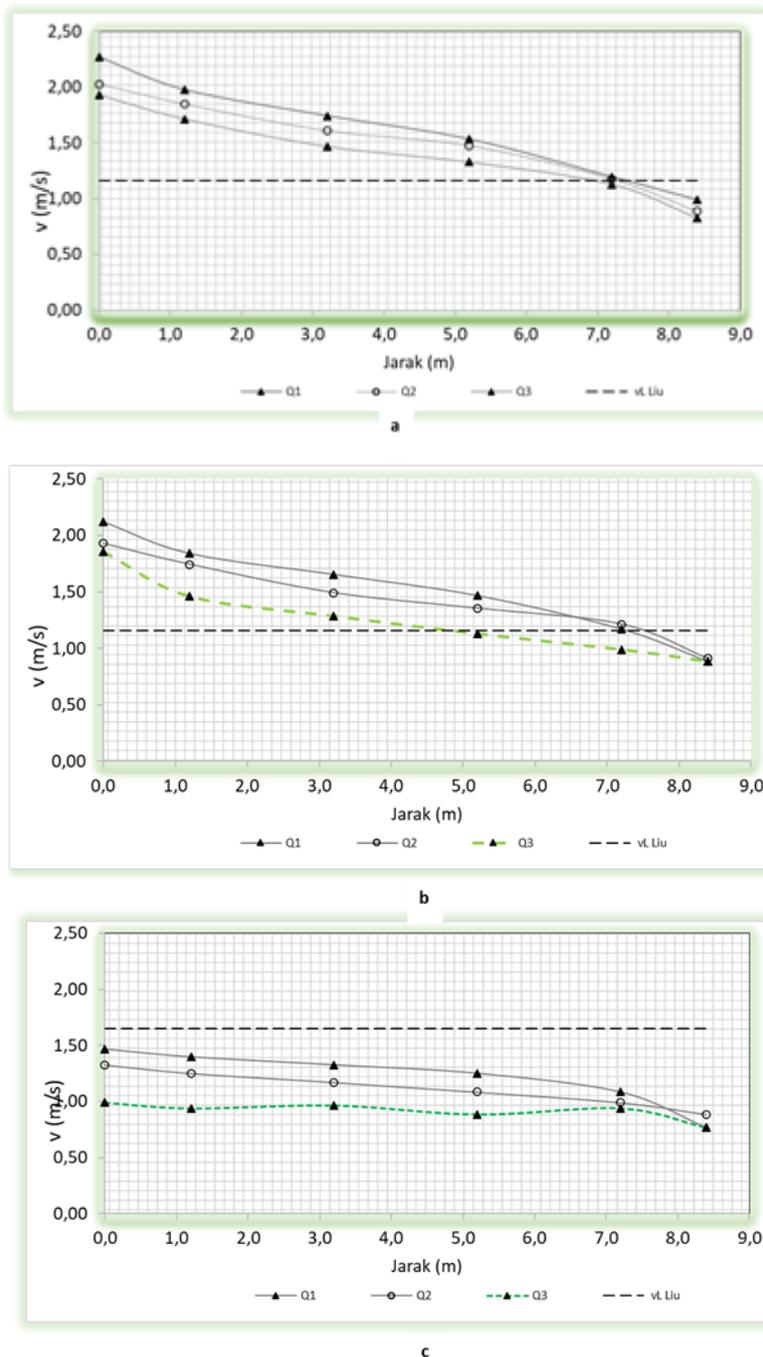


Gambar 7. Kondisi Pengaliran pada pipa lurus (a) $d_{0,15}$, (b) $d_{0,25}$ dan (c) $d_{0,42}$

4.3. Regime Aliran pada Pipa Belok

Gambar 6 menunjukkan kondisi kecepatan aliran slurry (V_s) dan kecepatan aliran pengendapan (V_L) pada perubahan laju aliran

masuk (Q) pada setiap titik pengamatan yang diwakili oleh jarak. Jarak 0,0 mewakili Titik Pengamat TP1. Jarak 2,0 TP2. Jarak 4,0 mewakili TP5 dan Jarak 6,0 mewakili TP8.



Gambar 8. Distribusi V_s dan V_L (a) $d_{0,15}$, (b) $d_{0,25}$ dan (c) $d_{0,42}$ pada pipa belok

Gambar 8.a sedimen $d_{0,15}$ v_s slury berada pada 2,27 m/sec - 0,83 m/sec. Kecepatan laju aliran Q1 berada regime *heterogeneous* dimana kecepatan awal pada pengaliran dalam pipa masih cukup tinggi atau turbulennya masih mampu mensuspensi aliran sedimen tersebut sampai di akhir pengaliran. Laju aliran aliran Q2 dan Q3 dari regime *heterogeneous* ke regime *moving bed flow* pada L 7 m.

Sedangkan pada Gambar 8.b sedimen $d_{0,25}$ mm laju aliran berada pada 2,12 m/sec - 0,89 m/sec, laju aliran Q1 dan Q2 terjadi perubahan

regime dari regime *heterogeneous* ke regime *moving bed flow* pada jarak 7,2 m. Laju aliran Q3 berada pada *heterogeneous ke regime moving bed flow* pada L 5 m.

Pada Gambar 8.c, Pada sedimen $d_{0,42}$ laju aliran berada pada 1,47 m/s - 0,44 m/s (Gambar 4.10.c) Laju aliran berada *moving bed flow* pada Q1 dan Q2 transpor sedimen dengan cara *sliding* tidak menghasilkan *regime stationary bed flow*, tetapi durasi waktu yang lebih lama di butuhkan untuk sampai ke pengaliran akhir. Laju aliran Q3 berada pada regime aliran dasar tetap atau *regime stationary bed flow*.



Regime stationary bed flow dapat menyebabkan sedimen tinggal yaitu endapan sedimen yang terjadi karena ketidak mampuan kecepatan aliran (V_s) membawa sedimen yang terkandung dalam aliran. Gambar 4.13 menunjukkan limit deposit velocity pada beberapa perubahan laju aliran masuk. Selama pengaliran terjadi perubahan regime dari regime heterogeneous ke regime moving bed flow dan regime stationary bed flow. Laju aliran Q1, Q2 dan Q3 terjadi perubahan regime dari regime pengaliran terjadi perubahan regime dari regime heterogeneous ke regime moving bed flow

Sama halnya pada Gambar 7 juga menunjukkan kondisi V_s dan V_L pada aliran belok, terjadi menggambarkan perubahan regime heterogeneous ke regime moving bed flow dan regime stationary bed flow. atas memberikan pengaruh atas regime $d_{0,15}$, $d_{0,25}$, $d_{0,42}$. Perubahan regime yang terjadi dari Semakin besar ukuran butiran pasir semakin besar limit deposit velocity atau LDV (V_L) sehingga semakin besar kebutuhan kecepatan alirannya (V_s) untuk tidak mencapai (V_L).

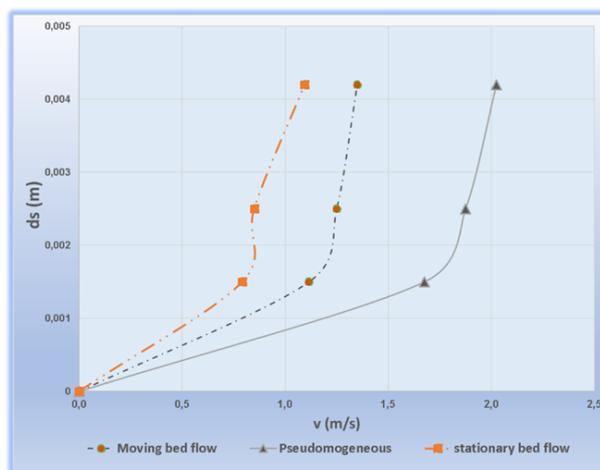
Parameter yang sangat penting dari aliran slurry adalah kecepatan pengendapan atau limit deposit velocity. Limit deposit velocity atau LDV yang di maksud dalam eksperimen ini adalah kecepatan yang tidak adanya pengendapan termasuk *slidding*, *salting bed* dan tidak termasuk *stationary bed*. Kecepatan slurry yang di diharapkan adalah kecepatan yang berada dalam regime heterogeneous. Analisa limit deposit velocity (V_L) bertujuan untuk mengetahui kecepatan minimum yang di butuhkan untuk mensuspensi partikel sedimen dari awal sampai di akhir pengaliran.

Secara eksperimental nilai limit deposit velocity atau LDV di tandai berupa mulai mengendapnya sedimen di pipa pada saat berlangsung simulasi dan transport selanjutnya di lakukan secara *sliding* atau *salting bed* dan tidak terjadi *stationary bed*. Limit deposit velocity (V_L) di pengaruhi oleh ukuran, bentuk kekasaran permukaan dan jaran tempuh aliran.

Secara teoritis Limit deposit velocity (V_L) di hitung menggunakan Persamaan Liu. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan V_L untuk ukuran sedimen diameter 0,15 mm adalah 1,16 m/s, diameter 0,25 mm adalah 1,45 m/s dan diameter 0,42 mm 0,65 m/s. Nilai V_L tersebut berasal dari *desimetric froud number* (F_L) dari

aliran slurry dan ukuran diameter sedimen. Berdasarkan nilai ini dapat dilihat bahwa semakin besar diameter butiran diperlukan batas kecepatan pengendapan semakin besar pula hal ini disebabkan karena diameter yang semakin besar mengakibatkan gaya atau berat sedimen semakin besar sehingga diperlukan kecepatan yang semakin besar untuk mengangkat sedimen tersebut.

4.4. Validasi Data

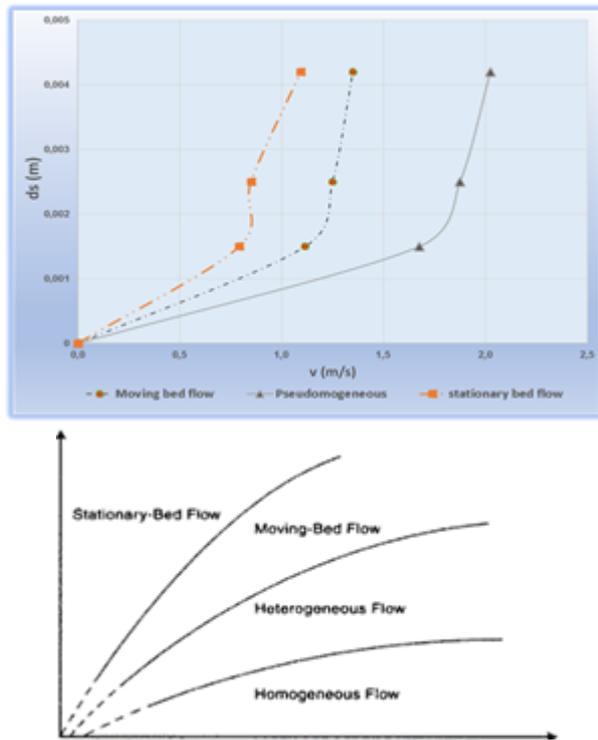


Gambar 9. Hubungan kecepatan pengendapan terhadap ukuran sedimen

Gambar 9 menunjukkan V_L pada persamaan Liu lebih besar dari hasil pengukuran pada ukuran sedimen yang sama, akan tetapi masih menunjukkan trend data yang sama yaitu garis linear. Semakin besar ukuran sedimen (d_s), limite deposit velocity (V_L) semakin besar pula. Hal ini juga menunjukkan kesesuai yang sama atas konsep Liu bahwa ukuran partikel (d_s) dan kecepatan slurry (v) sangat berpengaruh dalam klasifikasi regime aliran slurry. Nilai V_L persamaan Liu menunjukkan untuk sedimen ukuran 0,15 m adalah 1.16 m/s, sedimen ukuran 0,25 mm adalah 1,45 m/s dan 0,42 adalah 1,65. Sedangkan nilai kecepatan V_L penelitian ini menunjukkan sedimen ukuran 0,15 mm adalah 1,13 m/s, untuk ukuran 0,25 mm adalah 1,32 m/s dan 0,42 adalah 1,40 mm.

Gambar 10 menunjukkan hasil penelitian dimana trend dari regime sejalan dengan yang ditunjukkan pada grafik liu, yaitu semakin besar diameter sedimen atau kecepatan aliran semakin kecil maka regime yang akan dituju adalah

regime Moving Bed Flow/ stationary bed flow demikian pula sebaliknya semakin kecil diameter sedimen atau kecepatan aliran semakin besar maka regime yang akan dituju adalah regime heterogeneus/homogeneous.



Gambar 10. Perbandingan grafik hasil penelitian dengan grafik Liu

5. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal dari hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu :

- Semakin besar debit maka kecepatan dan Bilangan Reynolds juga makin meningkat, demikian juga sebaliknya.
- Pada sedimen $d_{0,15}$ vs slury berada pada 1,83 m/sec - 0,63 m/sec. Kecepatan laju aliran Q1 berada regime heterogeneous dimana kecepatan awal pada pengaliran dalam pipa masih cukup tinggi atau turbulennya masih mampu mensuspensi aliran sedimen tersebut sampai di akhir pengaliran.
- Pada sedimen $d_{0,25}$ mm laju aliran berada pada 1,77 m/sec - 0,63 m/sec Laju aliran Q1 dan Q2 terjadi perubahan regime dari regime heterogeneous ke regime moving bed

flow pada jarak 3,5 m (segmen 2) dan jarak 2 m (segmen 1), dan bergerak dengan cara sliding sampai di akhir pengaliran. Laju aliran Q3 berada pada moving bed flow bergerak dengan cara sliding sampai di akhir pengaliran

- Pada sedimen $d_{0,42}$ laju aliran berada pada 1,47 m/s - 0,44 m/s (Gambar 8 (c)) Laju aliran berada moving bed flow pada Q1 dan Q2 transpor sedimen dengan cara sliding tidak menghasilkan regime stationary bed flow, tetapi durasi waktu yang lebih lama di dibutuhkan untuk sampai ke pengaliran akhir.

Referensi

- T. Bambang, *Mekanika Fluida*. Yogyakarta: Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada, 1992.
- K. J. Robert, *Hidrolika Terapan Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa*, Revisi, 20. Yogyakarta: Andi, 2001.
- J. Dake, *Hidrolika Teknik*. Jakarta: Erlangga, 1983.
- Waspo, "Analisa Head Loss Sistem Jaringa Pipa pada Sambungan Kombinasi Diameter Berbeda," *J. Suara Tek. Fak. Tek. UM Pontianak*, 2017.
- M. Orianto and P. W.A., *Mekanika Fluida I*. Surabaya: Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh November.
- J. R. Welty and Dkk, *Dasar-dasar Fenomena Transport Volume 1 Transfer Momen*, Edisi ke-4. Jakarta: Erlangga, 2000.
- T. Bambang, *Hidrolika II*. Yogyakarta: Beta Offset, 2003.
- Chorlton, *Fluida Mechanics*. London: Van Nostrand, 1967.
- E. Viandai, "Belajar Fluida, Ingat Hukum Bernoulli," *Hukum Bernoulli*, 2019. [Online]. Available: <http://www.quipper.com>. [Accessed: 25-Jan-2021].
- H. Pitot, "Description d'une machine pour mesurer la vitesse des eaux courantes et le sillage des vaisseaux," *ans Hist. l'Académie R. des Sci. avec les mémoires mathématique Phys. tirés des Regist. cette Académie*, pp. 363–376, 1732.
- H. Darcy, "Note relative à quelques modifications à introduire dans le tube de Pitot," *Ann. des Ponts Chaussées*, pp. 351–359, 1858.
- C. J. Geankoplis, *Transport processes and separation process principles (include unit operations)*, 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003.
- S. R. Pudjiwahyuni, "Mengukur Besar Debit Aliran Fluida pada Pipa Venturimeter," Universitas Katolik Widya Mandala, 1999.

