

STUDI REGIM ALIRAN FLUIDA DAN PENENTUAN HEAD LOSS AKIBAT GESEKAN PADA INSTALASI PERPIPAAN

Edwina J. Rumaherang¹, W. M. E. Wattimena², Sesilia M. Rawulun³, Excelsis Noya⁴

¹Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

e-mail : edwinarumaherang@gmail.com

²Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

e-mail : willem.wattimena@fatek.unpatti.ac.id

³Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

e-mail : rawulun12@gmail.com

⁴Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97233

e-mail : exelcis.noya@gmail.com

Abstrak. Instalasi perpipaan dalam industri merupakan sistem keteknikan memegang peranan penting yang berfungsi untuk mengalirkan air, minyak dan gas dari satu titik ke titik lain melalui semua komponen yang tercakup didalamnya. Sistem perpipaan terdiri dari pipa lurus, sambungan-sambungan, belokan katup-katup dan peralatan-peralatan instrumentasi yang harus bekerja secara optimal. Regim aliran fluida di dalam berbagai komponen perpipaan memberikan pengaruh terhadap aliran teristimewa pada dua parameter penting yaitu koefisien gesek dan kehilangan head. Tujuan penelitian ini adalah memantau sifat pergerakan fluida dalam rezim laminar dan turbulen dan menentukan nilai head loss sebagai fungsi debit dalam rezim laminar dan turbulen. Penelitian dilakukan pada pipa lurus berdiameter 4 inci dengan panjang total 10 meter, diameter 4 inci dengan satu belokan 90o. Penentuan hubungan kerugian head terhadap debit dilakukan melalui simulasi hidrodinamika, dimana kecepatan aliran divariasi dari 0,02 - 0,1 m/s, sesuai dengan debit $Q = 10-52$ liter/menit. Variasi kecepatan ini melewati regim aliran laminar dan turbulen yang diukur pada 4 penampang pada pipa lurus dan elbow. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa profil aliran pada setiap penampang berbeda-beda untuk nilai debit Q yang sama. Pada setiap penampang dengan variasi nilai debit Q , karakter nilai kerugian head meningkat dengan meningkatnya debit aliran Q dengan nilai berbeda pada setiap penampang, namun trend perubahannya mirip. Kondisi laminar terjadi pada $Q < 34$ lit/menit dengan kerugian head $h_{dl} < 0,74 \times 10^{-3}$ m, transisi terjadi pada $Q = 34-36$ lit/menit, dengan $h_{dl} = (0,74 - 0,68) \times 10^{-3}$ m dan turbulen sepenuhnya pada $Q > 36$ lit/menit dengan $h_{dl} > 0,74 \times 10^{-3}$ m. Hal ini menunjukkan bahwa pada elbow atau belokan, aliran akan menjadi turbulen walaupun pada kecepatan yang rendah..

Kata kunci: Pipa lurus, elbow, regim aliran, koefisien gesek, kerugian head.

Abstract. Piping installation in industry is an engineering system that plays an important role in the flow of water, oil, and gas from one point to another through all the components included in it. The piping system consists of straight pipes, joints, valve bends, and instrumentation equipment that must work optimally. The fluid flow regime in various piping components influences the flow in particular on two important parameters, namely the friction coefficient and head loss. The purpose of this study is to monitor the nature of fluid movement in the laminar and turbulent regimes and determine the value of head loss as a function of discharge in the laminar and turbulent regimes. The research was conducted on a straight pipe with a diameter of 4 inches and a total length of 10 meters, with a diameter of 4 inches and one 90-degree bend. The determination of the relationship between head loss and discharge is carried out through hydrodynamic simulations, where the flow velocity is varied from 0.02 to 0.1 m/s according to the discharge Q of 10–52 liters/minute. These velocity variations through a laminar and turbulent flow regime are measured at four sections on a straight pipe and an elbow. The results obtained show that the flow profile at each cross

section is different for the same discharge Q value. At each section with variations in the value of the discharge Q , the character of the value of the head loss increases with increasing flow rate Q , with different values for each section, but the trend of changes is similar. Laminar conditions occur at $Q = 34$ lit/minute with $h_{dl} = 0.74 \times 10^{-3}$ m; transition occurs at $Q = 34-36$ lit/minute with $h_{dl} = (0.74-0.68) \times 10^{-3}$ m; and fully turbulent at $Q > 36$ lit/minute with $h_{dl} > 0.74 \times 10^{-3}$ m. This indicates that at an elbow or turn, the flow will become turbulent even at a low speed..

Keywords: straight pipe, elbow, flow regime, friction coefficient, head loss.

1. PENDAHULUAN

Sistem perpipaan digunakan dalam industri untuk dua fungsi utama yaitu pada system transport fluida maupun system ketenagaan fluida. Instalasi perpipaan merupakan system keteknikan untuk mengalirkan air, minyak dan gas [1][2]. dari suatu sumber bertekanan tinggi ke tempat bertekanan rendah. Pada system ketenagaan [3] yaitu pada system hidraulik dan pneumatic yaitu konstruksi penampang meridian pompa sentrifugal [4], pompa turbin [5] dan peralatan penukar kalor salah satunya adalah system pipa helikal [6][7].

Sistem pipa terdiri dari pipa lurus, sambungan-sambungan, belokan katup-katup dan peralatan-peralatan instrumentasi.

Analisis aliran fluida dalam system perpipaan dilakukan untuk aliran dalam pipa dan aliran yang melalui silinder sirkular yang merupakan salah satu masalah dalam mekanika. Regim aliran, koefisien gesek dan head losse adalah parameter-parameter penting yang menentukan performance aliran dalam system pipa. Rezim aliran ditentukan berdasarkan klasifikasi aliran fluida untuk membedakan antara dua aliran yang berbeda seperti rezim aliran internal atau eksternal, rezim aliran fase tunggal atau multifase [8] dan kavitasi aliran pada mesin [9][10], dan rezim aliran laminar atau turbulent [11][12]. Regim aliran memberikan pengaruh terhadap performance energi aliran pada sistem perpipaan yang dinyatakan melalui bilangan Reynolds (Re). Pada densitas dan viskositas fluida konstan, Bilangan Reynolds ditentukan oleh kecepatan aliran kecepatan aliran dan juga ukuran pipa. Regim laminar terjadi para $Re < 2300$ dan $Re > 2300$ untuk regim aliran turbulent. Dalam praktek, jika bilangan Reynolds kurang dari 2000, alirannya adalah laminar. Jika lebih besar dari 3500, alirannya turbulent. Aliran dengan angka Reynolds antara 2000 dan 3500 terkadang disebut sebagai aliran transisi [11].

Head dan daya aliran fluida merupakan parameter penting dalam perencanaan dan analisis system transport [13][2][3][14][15]. Jumlah gesekan

fluida, yang menentukan jumlah energi yang dibutuhkan untuk mempertahankan aliran yang diinginkan, tergantung pada mode aliran. Masalah ini merupakan pertimbangan dalam aplikasi tertentu yang melibatkan perpindahan panas ke fluida [11][7]. Regim dan gesekan fluida dipengaruhi oleh bentuk, ukuran dan konfigurasi sistem perpipaan serta kekasaran permukaan.

Hasil - hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada ketergantungan bilangan Reynolds yang signifikan dalam aliran rata-rata dengan Reynold stress $Re < 1000-6000$ [16]. Hal ini juga dibuktikan dalam penelitian penskalaan bilangan Reynolds dari lapisan batas turbulen pelat [17] dan penelitian aliran rata-rata di lapisan dalam untuk lapisan batas turbulen, pipa, dan aliran saluran pada $Re = 3000$ [18].

Bilangan Reynolds dan Reynolds stress serta kondisi permukaan pipa berpengaruh terhadap kerugian head di dalam penampang aliran. Kerugian head tidak dapat dihindari dalam cairan nyata, karena gesekan antara fluida dan dinding pipa pada pipa lurus, gesekan antara partikel fluida yang berdekatan saat mereka bergerak relatif satu sama lain; dan turbulensi yang disebabkan oleh belokan dan gerbang masuk dan keluar pipa, pompa, katup, peredam aliran, dan perlengkapan lainnya [11]. Gesekan fluida antara dua titik dalam pipa atau saluran lurus mungkin diukur dengan perpanjangan empiris dari prinsip Bernoulli.

Kerugian head, h_f , adalah parameter fisik yang sangat penting untuk analisis eksperimental dan teoritis dari fenomena fluida yang juga dipengaruhi oleh koefisien gesek yang merupakan faktor kunci untuk menentukan kecepatan aliran dalam aliran saluran, yang juga penting untuk memastikan desain hidraulik yang optimal [19]. Head losses sangat merugikan dalam aliran fluida di dalam sistem perpipaan, karena head losses dapat menurunkan tingkat efisiensi aliran fluida [20]. Head losses terjadi diakibatkan dua komponen yaitu mayor losses dan minor losses. Mayor losses adalah kerugian tekanan yang diakibatkan oleh adanya

gesekan di sepanjang aliran pipa, dimana pada kasus panjang pipa 6,3 meter mayor losses sebesar 0,106 m. sedangkan minor losses yang diakibatkan oleh adanya sambungan belokan 90o sebesar 0,0061 m [21]. Kerugian head untuk aliran fluida berbanding lurus dengan panjang pipa, kuadrat kecepatan fluida, dan gesekan fluida disebut faktor gesekan dan berbanding terbalik dengan diameter pipa [11]. Dalam hubungan dengan ukuran pipa, head losse semakin kecil untuk ukuran diameter pipa yang semakin besar [13].

Beberapa penelitian membahas jatuh tekanan untuk aliran dalam pipa yang terdiri dari aliran dua phase pada belokan 450 [22] dan 90° [21] studi karakteristik pola aliran stratified pada pipa horizontal [8] dan analisis variasi diameter pipa pada pompa aksial untuk mengurangi head loss [23] menguraikan tentang karakteristik aliran dan kerugian head pada konfigurasi belokan, pipa horizontal dan variasi diameter pipa. Pada namun belum menggambarkan hubungan regim aliran, profil kecepatan aliran dalam pipa lurus dan belokan, hubungan builangan Reynolds, koefisien gesek dan kerugian head dengan kecepatan aliran atau debit dalam pipa beton lurus dan belokan 900. Oleh karena itu paper ini membahas hasil kajian regim aliran fluida dan menentukan koefisien gesek dan kerugian head pada sistem pipa dengan tujuan memantau sifat pergerakan fluida dalam rezim laminar dan turbulen, menentukan kehilangan tekanan akibat gesekan pada berbagai laju aliran fluida dan menetapkan hubungan antara head loss dan debit dalam rezim laminar dan turbulen. Penyelesaian paper ini dilakukan dengan metode experimental.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Regim Aliran Fluida dalam penampang

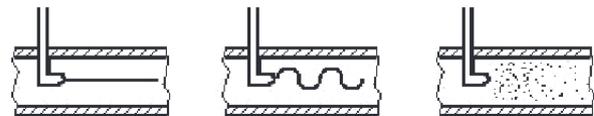
Penentuan kehilangan head dimulai dengan gambaran fisik umum aliran internal dan lapisan batas kecepatan, bilangan Reynolds tanpa dimensi dan pengaruhnya terhadap karakteristik aliran di dalam pipa yang berkorelasi terhadap penurunan tekanan yang terkait dengannya untuk aliran laminar dan turbulen serta kerugian head [24]. Dalam banyak permasalahan aliran fluida, penentuan kecepatan yang tepat pada lokasi yang berbeda dalam penampang aliran yang sama, cukup dengan menggunakan satu kecepatan rata-rata untuk mewakili kecepatan semua fluida pada titik tersebut di dalam pipa dengan asumsi bahwa kecepatan maksimum sama dengan kecepatan di tengah pipa [11].

Pergerakan fluida dalam pipa dan saluran dicirikan oleh dua mode: laminar dan turbulen.

Dalam aliran laminar, fluida bergerak dalam lapisan atau aliran paralel. Sedangkan dalam rezim turbulen, pergerakan partikel fluida terjadi di sepanjang lintasan yang kompleks dan kacau; pencampuran intensif partikel fluida terjadidalam aliran, disertai dengan denyut kecepatan dan tekanan [25].

Tidak seperti aliran laminar, ekspresi kehilangan dalam pipa atau saluran yang mengandung aliran turbulen didasarkan pada analisis dan pengukuran, memberikan hubungan empiris atau semi-empiris. Bahkan, karena pentingnya banyak aplikasi industri, eksperimen sistematis telah dilakukan dengan aliran pipa untuk mengukur kehilangan tekanan untuk laju aliran yang berbeda, bilangan Reynolds, dan nilai kekasaran permukaan.

Secara visual, rezim laminar dan transisinya ke turbulen dapat diamati menggunakan percobaan yang pertama kali dilakukan oleh O. Reynolds. Untuk melakukan ini, aliran tipis cairan berwarna dimasukkan ke dalam tabung kaca dengan cairan bergerak. Pada laju aliran rendah, cairan berwarna bergerak dalam bentuk aliran tipis yang sejajar dengan dinding tabung, tanpa bercampur dengan aliran cairan utama.



Gambar 1. Indikasi Mode Aliran

Jika laju aliran dinaikkan, aliran berwarna mulai berosilasi dan bergerak dalam gelombang. Kemudian, di beberapa bagiannya, celah-celah mulai terlihat. Aliran kehilangan bentuknya yang khas dan, pada laju aliran tertentu, benar-benar tersapu oleh cairan yang mewarnainya secara merata. Ini menunjukkan transisi dari rezim laminar ke rezim turbulen.

Aliran laminar dicirikan oleh garis arus paralel dan lapisan yang terdefinisi dengan baik, profil kecepatan berbentuk parabola. sedangkan rezim aliran turbulen ditandai dengan ketidakteraturan dalam pergerakan partikel fluida, pola pusaran yang tidak beraturan, [26] yang berasal dari dinding pipa, fluida bercampur di seluruh penampang pipa. Jenis aliran ini sangat tidak efisien dalam hal pemanfaatan energi untuk memindahkan fluida ke bawah pipa karena semua gerakan eddy atau pusaran yang berlawanan dengan arah aliran secara keseluruhan [27]. Distribusi kecepatan pada setiap jarak r dari saluran pada aliran turbulen dinyatakan sebagai hukum pangkat $1/7$ [28].

Berdasarkan percobaan, Reynolds mengusulkan hubungan tanpa dimensi, yang disebut bilangan

Reynolds, yang memungkinkan mengatur mode aliran fluida. Untuk pipa silinder [25][29][30]:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \dots\dots\dots (1)$$

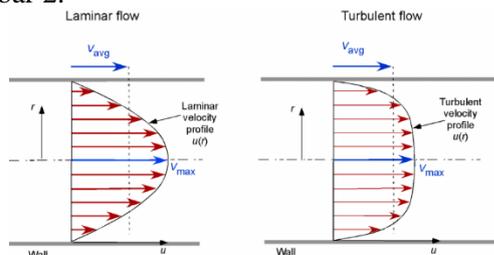
dimana v adalah kecepatan rata-rata fluida, m/s; d adalah diameter bagian dalam pipa, m; ν adalah viskositas kinematis cairan, m²/s.

Dari sudut pandang fisik, bilangan Re adalah rasio gaya inersia dengan gaya gesek viskos. Dalam aliran, karena adhesi partikel cair ke permukaan pipa, kecepatan di dinding adalah nol, dan pada sumbu aliran memiliki nilai maksimum. Oleh karena itu, fluida yang bergerak berada dalam keadaan tertekan dan dua gaya berinteraksi di dalamnya: inersia dan gesekan kental. Gaya inersia cenderung menyebabkan gangguan pada aliran, dan gaya gesekan kental mencegah hal ini. Oleh karena itu, pada angka $Re < 2320$, rezim laminar terjadi, dan pada $Re > 2320$, rezim turbulen [24].

Gerakan turbulen yang dikembangkan dalam pipa hanya terjadi pada $Re = 2800$, dan pada $Re = 2320-2800$ terdapat daerah transisi (daerah intermitten), di mana, tergantung pada kondisi, rezim laminar atau turbulen dimungkinkan. Namun, untuk perhitungan praktis, biasanya diasumsikan bahwa pada $Re > 2320$ rezim turbulen terjadi.

Jika $Re < Re_{cr} = 2320$, maka mode gerak disebut laminar, jika $Re > Re_{cr}$ - turbulen. Ketika aliran fluida nyata bergerak, gaya resistensi (gesekan) hidrolis muncul yang memperlambat gerakan. Ada resistensi kental dan inersia. Resistensi kental muncul karena adanya sifat fluida untuk menahan gaya tangensial selama gerakan. Dengan peningkatan bilangan Reynolds, selain kental, juga terjadi resistensi inersia yang disebabkan oleh pembentukan vortisitas dan pencampuran massa fluida. Dengan rezim turbulen yang berkembang, pengaruh resistensi inersia meningkat, dan menjadi dominan. Untuk mengatasi gaya hambatan, sebagian dari energi spesifik aliran fluida dikeluarkan, yang disebut kerugian head.

Perbedaan profile kecepatan dalam pipa untuk aliran laminar dan turbulen penuh ditampilkan pada gambar 2.

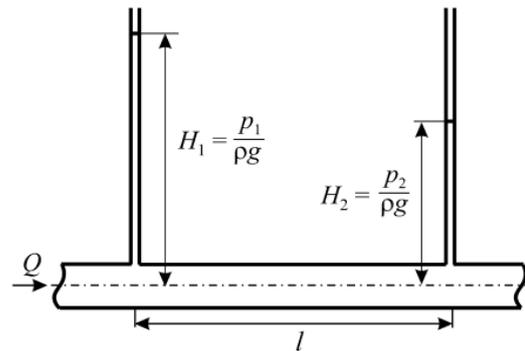


Gambar 2. Profil kecepatan aliran laminar dan turbulen

2.2. Koefisien Gesek dan Kerugian Head

Head loss pada daerah aliran seragam ($d = const$) disebut head loss sepanjang h_{dl} . Ketika cairan bergerak dalam pipa silinder bertekanan, kerugian sepanjang pipa dapat ditentukan secara eksperimental dan dengan perhitungan.

Secara empiris, dalam pipa penampang konstan, kehilangan tekanan sepanjang dapat ditemukan dengan perbedaan pembacaan piezometer (pengukur tekanan) $h_{dl} = H_1 - H_2$, dipasang di batas bagian eksperimental (Gbr. 10).



Gambar 3. Skema bagian pipa

Head loss pada aliran fluida tunak dalam pipa bertekanan bulat dihitung menggunakan persamaan Darcy-Weisbach [2][31][32]:

$$\Delta H = \left(\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2)$$

di mana λ adalah koefisien gesekan hidrolis (koefisien Darcy); l adalah panjang pipa, m; d adalah diameter dalam, m; v adalah kecepatan aliran rata-rata, m/s; g adalah percepatan gravitasi, m/s²

Koefisien λ tergantung pada mode gerak fluida (nomor Re), kekasaran relatif ($\epsilon = \Delta e / d$, di mana Δe adalah kekasaran absolut yang setara dari dinding pipa, yang setara dengan kekasaran absolut dalam hal ketahanan hidrolis; numeriknya nilai untuk pipa yang terbuat dari berbagai bahan diberikan dalam buku referensi). Pengaruh faktor-faktor ini terhadap nilai koefisien λ dalam mode yang berbeda memanasifestasikan dirinya dengan cara yang berbeda.

Dalam rezim laminar ($Re < 2320$), kekasaran dinding tidak mempengaruhi resistensi terhadap gerakan dan $\lambda = f(Re)$. Dalam hal ini, λ dihitung dengan rumus [31][33][25]:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (3)$$

Pada rezim turbulen ($Re > 2320$), nilai λ dipengaruhi oleh dua faktor: bilangan Re dan kekasaran relatif ϵ . Dalam hal ini, λ ditentukan oleh rumus Altshul [34][31].

$$\lambda = 0.11 \left(\epsilon + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \dots\dots\dots (4)$$

Dalam rezim turbulen, karena adanya sublapisan laminar (atau kental) dengan ketebalan δ di dekat dinding, tergantung pada rasio antara δ dan ketinggian tonjolan rata-rata permukaan kasar Δe , pipa halus secara hidraulik dan kasar secara hidraulik adalah terpendang.

Jika $\delta > \Delta e$, maka sublapisan laminar seolah-olah menghaluskan kekasaran dinding, aliran tidak mengalami turbulensi tambahan akibat kekasaran. Pipa seperti itu disebut mulus secara hidrolis.

Jika $\delta < \Delta e$, tonjolan kekasaran melampaui sublapisan laminar dan, ketika mengalir di sekitarnya, muncul vortisitas yang meningkatkan kehilangan tekanan. Dalam hal ini, pipa disebut kasar secara hidraulik.

Di zona pipa halus hidrolis ($\delta > \Delta e$) pada bilangan Reynolds $2320 < Re < 20 / \epsilon$, koefisien λ hanya bergantung pada bilangan Reynolds ($\lambda = f(Re)$), dan dapat ditentukan dengan rumus Blasius [25]

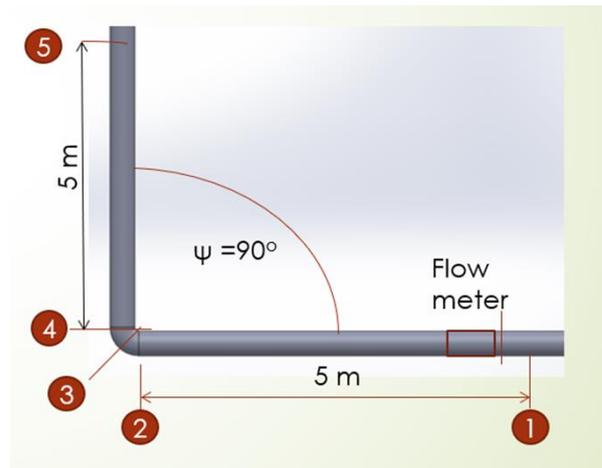
$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.5}} \dots\dots\dots (5)$$

Di zona resistensi kuadrat, ketika praktis tidak ada sublayer laminar ($\delta \ll \Delta e$), koefisien λ tidak lagi bergantung pada Re , tetapi hanya ditentukan oleh kekasaran relatif. Adanya zona ini disebabkan oleh rasio $Re > 500 / \epsilon$, dan koefisien λ dapat dihitung menggunakan rumus Shifrinson: $\lambda = 0,11\epsilon^{0.25}$.

2.3. Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah experimental teoritis, yang dilakukan pada pipa beton dengan diameter $D_1 = 1$ meter dan panjang pipa lurus $L = 10$ meter dan 1 buah elbow $\psi = 90^\circ$. Sistem pipa dipasang pada stand pengujian dengan skema pada gambar Gambar 3 yang terdiri dari tangki Pompa 1 dengan dua buah pipa beton lurus dengan panjang $L_1 = L_2 = 5$ meter dengan diameter $0,1 d = 0,1m$ yang dihubungkan dengan elbow $\psi = 90^\circ$. Dua piezometer 5 dipasang untuk menentukan kehilangan tekanan dalam pipa pada 5 titik yaitu pada titik 1, 2, 3, 4 dan titik 5 serta flowmeter, dan katup pengatur aliran 6, yang untuk mengubah kecepatan fluida. Untuk mengukur aliran cairan, ada bejana pengukur dan stopwatch. Kecepatan aliran ($V_{in} = Q/A$).

Penentuan pengaruh debit terhadap kerugian head pada berbagai regim aliran dilakukan melalui variasi debit aliran, Q (m^3/s), yang diatur melalui katup kontrol. Pada setiap variable debit dibaca data tekanan pada setiap titik, dan kemudian dihitung distribusi kecepatan pada setiap penampang titik, dan selanjutnya dihitung profil keecepatan, keoeffesein gesek dan kehilangan head pada setiap titik dan untuk keseluruhan panjang pipa.

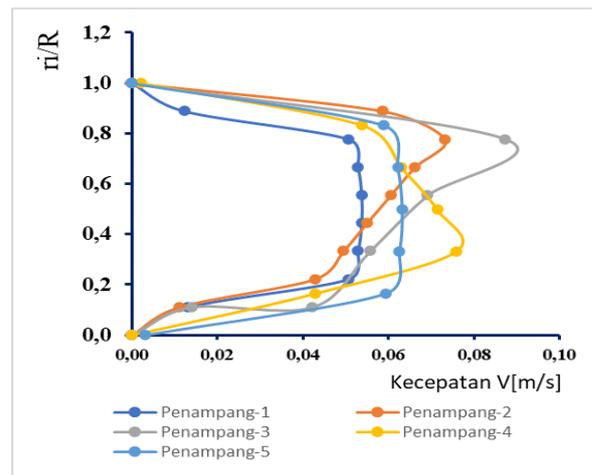


Gambar 3 Skema instalsi pengujian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Profil kecepatan 5 titik penampang

Pada hasil pembacaan data kecepatan sepanjang penampang pipa pada setiap penampang yang ditentukan yaitu pada garis 1, 2, 3,4 dan 5, terlihat bahwa profil aliran pada setiap penampang berbeda-bada untuk nilai debit Q yang sama. Aliran laminar pada penampang 1, sedangkan pada penampang 2,3 dan 4 aliran berubah menjadi turbulen dan kemudi Kembali laminar pada penampang 5. Hal ini menunjukan bahwa pada elbow atau belokan, aliran akan menjadi turbulen walaupun pada kecepatan yang rendah.

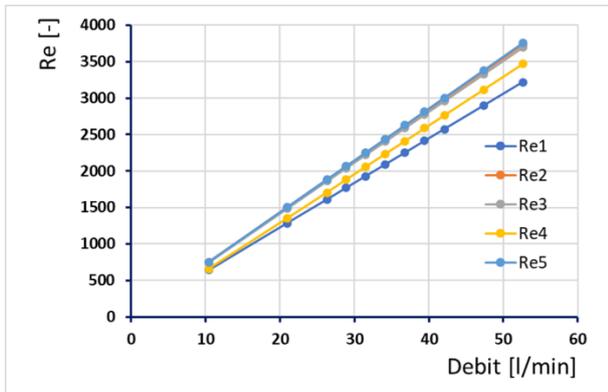


Gambar 4. Profil Kecepatan aliran pada 5 titik pengukuran

Kurva hubungan bilangan Reynold (Re) dengan Debit (Q) pada gambar 5 menunjukkan bahwa pada setiap penampang dengan variasi nilai debit Q karakter nilai kerugian head meningkat secara linear dengan meningkatnya debit aliran Q dan berbeda

pada setiap penampang, namun trend perubahannya mirip.

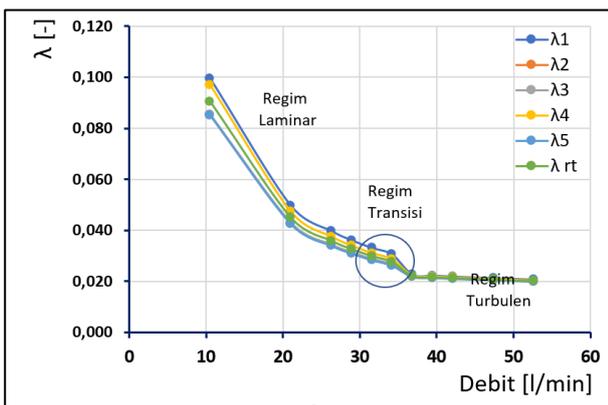
Grafik hubungan bilangan Reynolds dengan debit pada gambar 5 setara dengan hasil analisis perubahan tinggi tekanan [20] yang menunjukkan hubungan kenaikan secara linear antara nilai debit maka nilai bilangan Reynolds.



Gambar 5. Hubungan bilangan Re dengan debit aliran Q.

3.2. Koefesien gesekan

Koefesien gesek atau koefesien Darcy dihitung dengan persamaan (3) dan persamaan (6). Gambar 6 menunjukkan hubungan koefesien gesekan atau koefesien Darcy (λ) dengan Debit (Q). Pada regim aliran lamirar koefesien gesek (koefesien Darcy) λ akan turun dengan naiknya debit dengan kondisi kejutan pada regim transisi kemudian cenderung stabil pada regim turbulen.



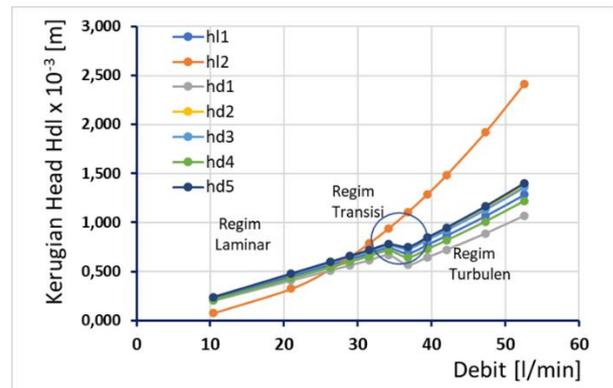
Gambar 6. Hubungan Koefesien gesek dengan Debit

3.3. Head loss

Berdasarkan persamaan 2 ditentukan hubungan kerugian head dalam pipa pada berbagai nilai variabel debit Q yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 7.

Pada setiap penampang dengan variasi nilai debit Q karakter nilai kerugian head meningkat dengan

meningkatnya debit aliran Q dan berbeda pada setiap penampang, namun trend perubahannya mirip.



Gambar 7. Hubungan Kehilangan Head h_f dengan Debit (Q)

Hasil penelitian yang diperoleh pada gambar 5 sampai dengan gambar 7 menunjukkan hasil yang serupa dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan. Analogi dengan penelitian analisa variasi diameter pipa pada pompa aksial untuk mengurangi kerugian head [23] yang menunjukkan bahwa pembesaran diameter pipa dimana debit yang bertambah head losses semakin besar dan koefesien gesek semakin kecil. Hasil yang serupa juga dipeoleh dalam penelitian analisis head losses akibat belokan pipa 90° (sambungan vertikal) dengan pemasangan tube bundle [21] dimana perbedaan tekanan fluida yang masuk dan keluar pipa disebabkan oleh hambatan aliran pada pipa lurus, belokan dan kekasaran permukaan dalam pipa, gesekan minyak dengan permukaan pipa, serta kecepatan aliran dan kenaikan debit meningkatkan kerugian head mayor dan minor [20].

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini disimpulkan bahwa regim aliran laminar ditentukan oleh factor debit dan kontruksi jalur yang dilalui fluida. Kerugian head meningkat dengan naiknya nilai debit, yang menandakan bahwa pada kecepatan yang tinggi terjadi kerugian head yang lebih besar, walaupun nilai koefesien gesek semakin kecil. Pada kasus ini dengan pipa beton diameter 4 inchi, untuk variasi nilai debit Q = 20 – 52 liter/menit, terjadi kehilangan head sebesar $h_f = (0,22-1,28) \times 10^{-3}$ m.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Suarda and I. G. K. Dwijana, “Kajian Pemasangan Pipa Air Bersih Melayang dalam Air Laut untuk Mendukung Perkembangan Pariwisata di Nusa Ceningan dan

- Lembongan,” *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 13, no. 1, p. 15, 2020, doi: 10.24843/jem.2020.v13.i01.p03.
- [2] W. M. Rumaherang, C. F. Refwalu, C. S. E. Tupamahu, S. J. E. Sarwuna, and E. J. Rumaherang, “EVALUASI KINERJA POMPA SENTRIFUGAL BERKAPASITAS 600 KL/Hr PADA SISTEM PEMOMPAAN MINYAK,” *J. Tek. Mesin, Elektro, Inform. Kelaut. dan Sains*, vol. 3, no. 1, pp. 17–27, 2023, doi: 10.30598/metiks.2023.3.1.17-27.
- [3] R. Dindorf, J. Takosoglu, and P. Wos, “Advances in fluid power systems,” *Energies*, vol. 14, no. 24, 2021, doi: 10.3390/en14248589.
- [4] W. M. Rumaherang, “Perhitungan aliran dan peramalan karakteristik pompa sentrifugal bertingkat dengan penggunaan CAD blade’s system,” *J. Ilm. Tek. Mesin CAKRAM*, vol. 2, no. 2, pp. 69–76, 2008.
- [5] W. Wang, X. Wang, Z. Wang, M. Ni, and C. Yang, “Analysis of internal flow characteristics of a startup pump turbine at the lowest head under no-load conditions,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 12, 2021, doi: 10.3390/jmse9121360.
- [6] A. Hatumessen, N. Titahelu, and C. S. Tupamahu, “Analisis Efektivitas Penukar Kalor Pipa Helikal Destilasi Minyak Atsiri Kayu Putih,” *ALE Proceeding*, vol. 4, pp. 127–132, 2021, doi: 10.30598/ale.4.2021.127-132.
- [7] N. Titahelu, D. S. Pelupessy, C. S. E. Tupamahu, and A. F. Rumagutawan, “Meningkatkan Efektivitas Kondensor Vertikal Pipa Helikal Koil Untuk Destilasi Minyak Atsiri Sereh,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 1, pp. 235–249, 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i1.1219.
- [8] I. Dwi Arirohman *et al.*, “Studi Karakteristik Pola Aliran Stratified pada Pipa Horizontal 16 mm,” *J. Sci. Technol. Virtual Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 9–15, 2021.
- [9] T. G. I. Rumaherang W.M., “Расчет кавитационного обтекания рабочего колеса радиально - осевой гидротурбины © 2011,” *Samara Fed. Res. Sci. Cent. Russ. Acad. Sci. (SamSC RAS)*, vol. 1, no. 2, pp. 472–475, 2011, [Online]. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-kavitatsionnogo-obtekaniya-rabocheogo-kolesa-radialno-osевой-gidroturbiny>
- [10] W. M. Rumaherang, J. Louhenapessy, M. F. Noya, and C. S. Tupamahu, “Studi Eksperimental Performance Kavitas Waterjet Propulsi,” *ALE Proceeding*, vol. 4, pp. 112–120, 2021, doi: 10.30598/ale.4.2021.112-120.
- [11] Department of Energy Fundamentals, “Thermodynamics , Heat Transfer , and Fluid Flow Volume 1 of 3 DOE Fundamentals Handbook,” *Energy*, vol. 1, no. June, p. 138, 1992.
- [12] A. Marali, S. Wahyudi, and N. Hamidi, “Analisa Fluida Nano Al₂O₃-Air pada Alat Penukar Kalor Proses Pendinginan (Metode Simulasi),” *Re TH*, pp. 413–418, 2017.
- [13] P. Rahayu, D. K. Putri, and N. Indriyani, “Pengaruh Diameter Pipa Pada Aliran Fluida Terhadap Nilai Head Loss,” *J. Agit.*, vol. 2, no. 2, pp. 2776–513, 2021.
- [14] A. A. Hanieh, *FLUID POWER CONTROL*, Second Edi. Jerusalem, 2021.
- [15] E. Busquets and M. Ivantysynova, “A Multi-Actuator Displacement-Controlled System with Pump Switching – A Study of the Architecture and Actuator-Level Control,” *JFPS Int. J. Fluid Power Syst.*, vol. 8, no. February, pp. 66–75, 2015.
- [16] M. P. Schultz and K. A. Flack, “Reynolds-number scaling of turbulent channel flow,” *Phys. Fluids*, vol. 25, no. 2, 2013, doi: 10.1063/1.4791606.
- [17] D. B. DeGraaff and J. K. Eaton, “Reynolds-number scaling of the flat-plate turbulent boundary layer,” *J. Fluid Mech*, no. 422, pp. 319–346, 2000.
- [18] and M. S. C. J. P. Monty, N. Hutchins, H. G. H. Ng, I. Marusic, “A comparison of turbulent pipe, channel and boundary layer flows,” *J. Fluid Mech*, vol. 632, pp. 431–442, 2009.
- [19] Y. M. Choo, J. G. Kim, and S. H. Park, “A study on the friction factor and reynolds number relationship for flow in smooth and rough channels,” *Water (Switzerland)*, vol. 13, no. 12, 2021, doi: 10.3390/w13121714.
- [20] Nurnawaty and Sumardi, “NALISIS PERUBAHAN TINGGI TEKANAN AKIBAT SUDUT BELOKAN 900 DAN 450 DENGAN MENGGUNAKAN FLUID FRICTION APPARATUS,” *J. Tek. Hidro*, vol. 13, no. 1, pp. 28–37, 2020, [Online].

- Available:
<https://journal.unismuh.ac.id/index.php/hidro/article/viewFile/3980/2716>
- [21] A. Priyati, S. H. Abdullah, and K. Hafiz, “Analisis Head Losses Akibat Belokan Pipa 90° (Sambungan Vertikal) Dengan Pemasangan Tube Bundle,” *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 7, no. 1, pp. 95–104, 2019, doi: 10.29303/jrpb.v7i1.104.
- [22] S. Wahyudi dan Agung Sugeng Widodo, “Analisis Aliran Fluida Dua Fase (Udara-Air) melalui Belokan 45 o,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 5, no. 3, pp. 217–224, 2014.
- [23] E. Widodo and R. Y. Pradhana, “Analysis of pipe diameter variation in axial pumps for reducing head loss,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 403, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/403/1/012029.
- [24] Y. A. Cengel and J. M. Cimbala, *Fluid-Mechanics-Fundamentals-and-Applications-3Rd-Edition-Cengel-and-Cimbala-2014*. 2014.
- [25] Е. С. Санкович, А. Б. Сухоцкий, И. Гидропривод, and Л. Практикум, *Гидравлика и гидропривод*.
- [26] N. D. Katopodes, “Free-Surface Flow, Environmental Fluid Mechanics,” in *Butterworth-Heinemann*, 2019, pp. 2–98. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815489-2.00001-0>.
- [27] Y. N. Lee and R. L. Johnston, *Surface Process, Transportation, and Storage Volume 4 in Oil and Gas Chemistry Management Series*, Chapter 5. Gulf Professional Publishing: Gulf Professional Publishing, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128238912000053?via%3Dihub>
- [28] W. M. Rumaheang and J. Latuny, “Fluid Flow Study in Various Shapes and Sizes of Horizontal Axis Sea Current Turbine,” *Sinergi*, vol. 25, no. 3, p. 289, 2021, doi: 10.22441/sinergi.2021.3.006.
- [29] V. Uruba, “On Reynolds number physical interpretation,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2000, no. December, 2018, doi: 10.1063/1.5049926.
- [30] M. A. Kabir, M. F. Alam, and M. A. Uddin, “A numerical study on the effects of reynolds number on blood flow with spiral velocity through regular arterial stenosis,” *Chiang Mai J. Sci.*, vol. 45, no. 6, pp. 2515–2527, 2018.
- [31] A. Y. Lipovka and Y. L. Lipovka, “Determining Hydraulic Friction Factor for Pipeline Systems,” *J. Sib. Fed. Univ. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 7, p. 62, 2014.
- [32] M. P. Schultz and K. A. Flack, “The rough-wall turbulent boundary layer from the hydraulically smooth to the fully rough regime,” *J. Fluid Mech.*, vol. 580, no. June, pp. 381–405, 2007, doi: 10.1017/S0022112007005502.
- [33] K. Madlener, B. Frey, and H. K. Ciezki, “Generalized reynolds number for non-newtonian fluids,” vol. 1, pp. 237–250, 2009, doi: 10.1051/eucass/200901237.
- [34] O. E. Turgut, M. Asker, and M. T. Çoban, “A review of non iterative friction factor correlations for the calculation of pressure drop in pipes,” *Bitlis Eren Univ. J. Sci. Technol.*, vol. 4, no. 1, 2014, doi: 10.17678/beujst.90203.