

KOEFISIEN GESEK ALIRAN DUA FASE PADA PIPA SPIRAL

Yanuar ⁽¹⁾ dan Damawidjaya Biksono ⁽²⁾

⁽¹⁾Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia

⁽²⁾Jurusan Teknik Mesin – FT. Universitas Jenderal Achmad Yani (Unjani)

E-mail : yanuar@eng.ui.ac.id dan damawidjaya@yahoo.com

Abstrak

Salah satu cara mengurangi endapan pada bagian bawah pipa untuk aliran 2 phase atau untuk memisahkan aliran udara dengan air menggunakan pipa spiral. Tujuan dari studi ini mengetahui karakteristik aliran campuran udara-air yang mengalir di dalam sirkulasi pipa spiral horizontal. Pipa spiral yang dilengkapi dengan pressure tap diukur selisih tekanan per satuan panjang. Pengaturan variasi laju aliran air dan udara diukur bilangan Reynoldsnnya, dari nilai kerugian tekanan didapatkan koefisien gesek aliran tersebut. Hasil koefisien gesek campuran udara-air lebih besar dibandingkan koefisien gesek pada air dapat dijelaskan.

1. Pendahuluan

Setiap orang mengetahui dari pengalaman sehari-hari, bahwa untuk menggerakkan suatu fluida/benda dengan kecepatan, dibutuhkan tenaga pendorong. Contoh air bila dialirkan diperlukan gaya dorong untuk mengatasi hambatan yang timbul pada kecepatan yang dikehendaki. Dalam industri sering dijumpai aliran dua-fase merupakan bagian dari aliran multi-fase. Aliran dari fase yang berbeda-beda telah banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam proses – proses industri, dalam kehidupan sehari-hari dapat dilihat pada aliran di saluran pembuangan, aliran darah, aliran semen dan pasir di pipa dan lain-lain. Sedangkan cara memindahkan zat – zat tersebut dalam industri banyak macamnya, aliran air dan udara dengan masing – masing variasi kecepatan dan kapasitasnya yang mengalir dalam pipa spiral dapat berubah – ubah, dimana letak butiran udara terletak disekitar sumbu pipa dengan letak kedudukan bervariasi dari sumbu (kwadran) pipa spiral. Dunia industri banyak sekali menggunakan pipa dalam pendistribusian fluida cair dalam melakukan proses produksi. Oleh karena itu efisiensi mutlak diperlukan dalam industri karena dengan efisiensi tinggi maka biaya yang dikeluarkan atau diperlukan dapat ditekan dan harga nilai jual. Dalam berbagai industri sebagian besar fluidanya mengalir pada pipa – pipa saluran tertutup (*closed conduit flow*) masalah utama antara lain :

1. Terjadinya gesekan pada dinding pipa.
2. Terjadinya turbulensi karena gerakan relatif dalam molekul fluida yang dipengaruhi oleh viskositas fluida itu sendiri dan bentuk pipa.
3. Terjadinya kapasitas aliran yang semakin kecil pada daerah yang jauh dari sumber karena kerugian tekanan.

Dari seluruh permasalahan – per masalah tersebut diatas dapat diduga bahwa faktor tekanan atau kerugian tekanan dapat mempengaruhi kinerja dan efisiensi pompa, oleh karenanya diperlukan peninjauan lebih mendalam lagi pada bidang mekanika fluida terutama dinamika fluida untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian tersebut dilakukan misalnya dengan penelitian-penelitian seperti yang telah dilakukan.

Sejak ditemukannya aliran dua-fase oleh Heron dan Leonardo da Vinci (1945), penggunaan sistem aliran dua-fase yang diikuti dengan perubahan fase untuk merubah energi termal menjadi energi kinetik sudah lama dikenal. Dalam penelitiannya menggunakan bola metal yaitu, air yang berada dalam sungkup dipanaskan dan uap yang dihasilkan naik kebola dan terpisah melalui dua saluran yang berliku – liku. H. Monji, at. Al (1995). Dalam suatu konferensi melaporkan tentang adanya pengurangan *pressure drop* dalam aliran dua fase (campuran partikel dalam air) pada kondisi laju aliran

yang tinggi “*Pressure Drop Reduction of Liquid-Particles Two-Phase Flow With Nearly Equal Density*”. Keizo WATANABE dan Kamoshida, “*Drag Reduction on Fly Ash Slurries in a Spiral Tube*” Penelitian yang dilakukan tentang aliran dua-fase dengan abu dan udara yang mengalir dalam pipa spiral. Tujuan penelitian, adalah mengetahui sifat-sifat fluida campuran air dan udara (dua fase) yang dialirkan dengan menggunakan alat transportasi pipa spiral. Instalasi sistem perpipaan yang dilengkapi dengan pipa spiral, pompa, katup, manometer, pressure transducer, gelas ukur, stopwatch, dan timbangan digunakan dalam penelitian ini. Campuran air dan udara disirkulasikan dalam sistem perpipaan dengan variasi kecepatan dari rendah ke cepat diatur oleh katup. Debit udara diukur dengan tekanan udara compressor sedangkan air dimasukkan kedalam gelas ukur dalam periode waktu. Angka bilangan Reynold dapat diketahui dan langsung melihat perbedaan tekanan antara 2 titik pengukuran sejarak 0,8 m pada pipa spiral, yang dikenal dengan pressure drop. Viskositas diukur dengan alat viscometer dengan variasi temperature. Dengan menggunakan persamaan turunan dari Navier-Stokes koefisien gesek yang terjadi pada aliran berputar didalam pipa spiral dapat diketahui.

2. Dasar Teori

Dalam suatu aliran yang melewati sistem atau instalasi pipa maka akan terjadi hambatan aliran, hambatan tersebut diakibatkan oleh faktor – faktor instalasi, aliran, dll. Hambatan aliran akan menyebabkan turunnya energi dari fluida tersebut yang sering juga disebut dengan kerugian tinggi tekan (*head loss*) atau penurunan tekanan (*Pressure drop*), head loss atau pressure drop merupakan pengaruh yang ditimbulkan oleh karena pengaruh gesekan fluida (*friction losses*) dan perubahan pola aliran terjadi karena fluida harus mengikuti bentuk dari dindingnya. Berdasarkan hasil pengujian. Hagen (1839) bahwa penurunan tekanan berubah secara linier dengan kecepatan (U) sampai kira – kira 0,33 m/s, tetapi diatas sekitar 0,66 m/s penurunan tekanan hampir sebanding dengan kuadrat kecepatan ($\Delta P \sim U^{1.75}$). Pada tahun 1883 oleh Osborne Reynolds menunjukkan bahwa penurunan tekanan tergantung pada parameter : kerapatan (ρ), kecepatan (U), diameter (D) dan viskositas (μ) absolut yang selanjutnya disebut dengan bilangan Reynolds

($Re = \rho \cdot U \cdot D / \mu$), pada $Re = 2100$, $U = 0,33$ m/s dan $Re = 4200$, $U = 0,66$ m/s.

Penurunan tekanan merupakan fungsi dari faktor gesekan (λ) dan kekasaran relatif dari dinding pada (ϵ/D) jadi :

$$\lambda = f(Re, \epsilon/D) \dots\dots\dots(1)$$

Menurut Henry Darcy (1857) yang melakukan eksperimen aliran dalam pipa bahwa kekasaran mempunyai efek, sehingga didapatkan faktor gesekan Darcy (λ) dan didapatkan formulasi :

$$h_f = \frac{\lambda \cdot L}{D \left(\frac{v^2}{2g} \right)} \dots\dots\dots(2)$$

Dari persamaan (2) disebut dengan formula Darcy – Weisbach dan faktor gesekan didapat dari eksperimen – eksperimen, beberapa bentuk fungsi dari (λ) atau (f)

Aliran fluida dalam pipa yang berbentuk lingkaran terbagi menjadi dua yaitu aliran laminar dan aliran turbulen dengan karakteristik antara kedua aliran tersebut yang berbeda – beda dari segi kecepatan, debit dan massa jenisnya. Bilangan Reynolds dapat mendefinisikan kedua aliran campuran air-udara tersebut dengan persamaan berikut :

$$Re = \frac{\rho_h \cdot U \cdot D_h}{\mu_h} = \frac{U \cdot D_h}{\nu} \dots\dots\dots(3)$$

Densitas campuran dihitung dari persamaan:

$$\frac{1}{\rho_h} = \frac{x}{\rho_g} + \frac{1-x}{\rho_L} \dots\dots\dots(4)$$

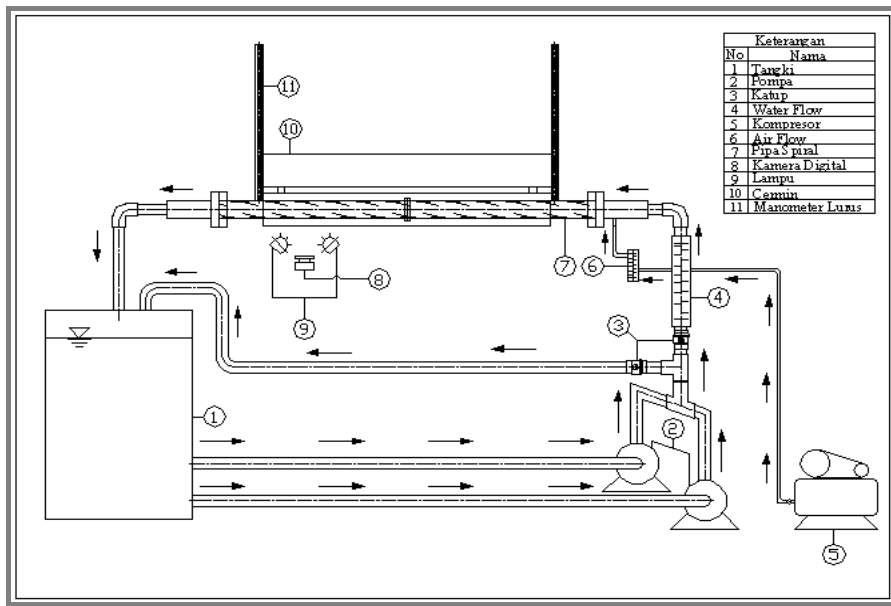
Untuk menghitung penurunan tekanan karena gesekan dapat digunakan persamaan Fanning (Collier, 1981) :

$$\left(- \frac{dp}{dz} \right)_F = \frac{2 \cdot c_f \cdot G^2}{D \cdot \rho_h} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana : $c_f = 16 / Re$ untuk aliran laminar dan $c_f = 0,3164 \cdot Re^{-0,25}$ untuk aliran turbulen dan $\rho_h = \rho_m$. Faktor gesekan dua fase dapat diperkirakan dengan menggunakan viskositas dua fase untuk aliran homogen (Koestoer,1994)

$$\frac{1}{\mu_h} = \frac{x}{\mu_g} + \frac{(1-x)}{\mu_L} \dots\dots\dots(6)$$

3. Metode dan Perangkat Pengujian



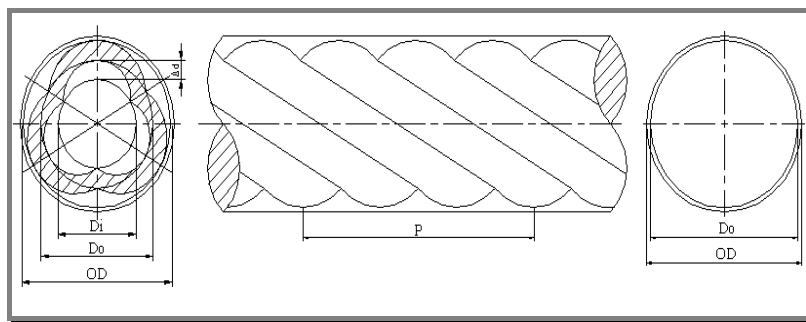
Gambar 1 Skema sistem instalasi pengujian koefisien gesek (λ).

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dirakit sendiri dengan mengacu pada referensi penelitian dan jurnal – jurnal terkait, alat pengujian ini merupakan satu kesatuan dari komponen – komponen sebagai berikut :

1. *Sump tank* dengan kapasitas maksimal 60 liter untuk menampung air yang disirkulasikan.
2. Pompa sentrifugal 2 (dua) buah dengan karakteristik head 9 meter dan kapasitas aliran 62 L/menit, digunakan untuk memompakan dan mensirkulasikan air.
3. Katup pengatur 1¼” untuk mengatur kecepatan aliran yang masuk pipa pengujian dan 1¼” untuk *by pass* agar aliran yang bersirkulasi dalam rangkaian konstan dan mencegah terjadinya “*Water Hammer*”.

4. *Water flow* dengan kapasitas pengukuran maksimal 70 L/menit, digunakan untuk menentukan dan mengukur kapasitas aliran air yang bersirkulasi.
5. Kompresor dengan karakteristik tekanan maksimum 6 bar digunakan untuk injeksi udara yang bersirkulasi dengan air.
6. *Air flow* dengan kapasitas pengukuran maksimal 10 L/menit, digunakan untuk menentukan dan mengukur kapasitas aliran udara yang bersirkulasi.
7. Pipa acrylic spiral dengan diameter luar 52 mm, tebal pipa 7 mm, diameter dalam 27 mm sepanjang 1120 mm yang digunakan sebagai pipa pengujian.
8. *Piezometrik* yang digunakan untuk mengukur beda tekanan pada dua titik yang berbeda pada pipa pengujian. Terbuat dari papan berskala dan selang akuarium.

Sedangkan dimensi pipa spiral dengan diameter luar pipa (OD) = 52 mm, tebal pipa (t) = 7 mm, diameter dalam spiral (Di) = 27 mm, diameter luar spiral (Do) = 39 mm dan panjang pit pipa spiral (P) = 246 mm seperti pada gambar (3) dibawah ini.

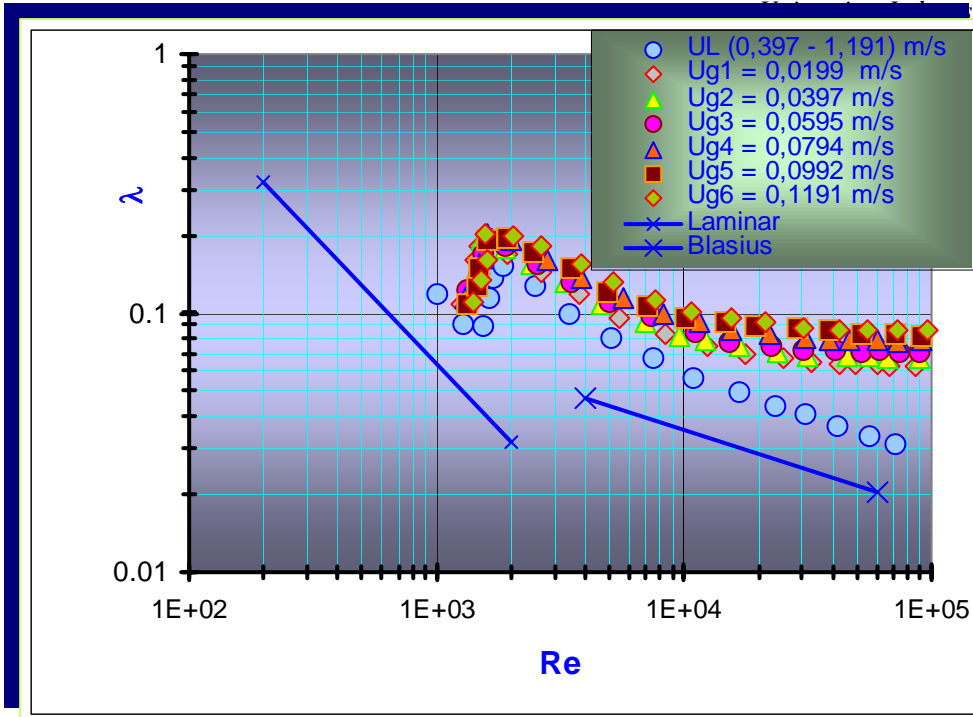


Gambar 2 Dimensi pengujian pipa spiral.

Jalannya penelitian air dialirkan dengan menggunakan dua buah pompa sirkulasi dengan melewati katup pengatur debit aliran air (U_L) dari (0,397-1,191) m/s dengan *waterflow*, Udara bertekanan dari kompresor dialirkan melewati *airflow* dari (0,0199-0,11911) m/s sehingga udara masuk melalui pipa dan terjadi *bubble* dalam aliran air temperature 27 °C yang bersirkulasi dalam pipa spiral. Data – data hasil pengujian dihitung dengan persamaan (1, 2 dan 3) untuk aliran satu fase air tanpa injeksi udara sedangkan untuk aliran campur air-udara dengan pertolongan persamaan (4, 5 dan 6) selanjutnya hasil perhitungan diplot pada grafik perbandingan hasil perhitungan bilangan Reynolds (Re) dan koefisien gesek (λ) dengan variasi kecepatan aliran air (U_L) dan kecepatan aliran udara (U_g) konstan. Selanjutnya pengambilan data gambar dengan kamera digital dan handycam dilakukan untuk memvisualisasikan tampilan fluida aliran air dengan penambahan aliran udara, dari hasil visualisasi diproyeksikan untuk mengetahui letak posisi gelembung udara.

4. Hasil dan diskusi

Koefisien gesek pada pipa spiral. Pada gambar dibawah dapat dilihat dengan bertambahnya konsentrasi udara yaitu dari (0,0199 s/d. 0,1191) m/s kenaikan tiap tingkat $U_g = 0,0199$ m/s, hal ini ditandai dengan plot yang semakin bergeser kekanan, artinya penambahan U_g diikuti oleh penurunan koefisien gesek (λ) pada Reynolds (Re) 1.500 sampai dengan (Re) 40.000, aliran transisi terjadi range antara bilangan Reynolds (Re) 1.400 sampai dengan (Re) 1.500 dan koefisien gesek (λ) cenderung konstan atau stabil pada Reynolds (Re) 40.000 sampai dengan 100.000 dan U_L dari (0,397 sampai dengan 1,191) m/s di ikuti oleh penurunan koefisien gesek (λ) pada Reynolds (Re) 1.800



5. Kesimpulan.

Setelah melakukan aliran dua-fase dan pengukuran pressure drop pada pipa spiral hasilnya dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Koefisien gesek pada aliran dua-fase lebih besar dibandingkan data satu fase (air).
2. Aliran transisi lebih cepat terjadi pada aliran dua-fase yaitu pada bilangan Reynolds (Re) antara (1.600-1.700).

Nomenclatur :

- Re = Bilangan Reynolds.
 U = Kecepatan karakteristik (m/s).
 \dot{m}_g = Laju aliran massa udara (kg/s).
 \dot{m}_l = Laju aliran massa air (kg/s).
 \dot{m} = Laju aliran massa campuran (kg/s).
 L = Panjang karakteristik pipa (m).
 ρ_g = Kerapatan massa udara (kg/m^3).
 ρ_L = Kerapatan massa air (kg/m^3).
 ρ_h = Kerapatan massa campuran (kg/m^3).
 μ = viskositas dinamik (kg/m.s).
 D_h = Diameter hidraulik pipa (m).
 α_h = Fraksi kehampaan (*void fraction*) campuran.
 x = Fraksi massa aliran.
 λ = Koefisien gesek
 Q = Debit aliran (m^3/s)
 U_L = Kecepatan aliran air (m/s)
 U_g = Kecepatan aliran udara (m/s)

6. Daftar Pustaka.

1. Goren, Y., and Norbury, JF., 1967., “*Turbulent Flow of Dilute Aqueous Polymer Solutions*”, Journal of Basic Eng.
2. Koestoer, R. A., 1994 “*Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis*”, Cetakan Pertama, Pradnya Paramita, Jakarta.
3. Monji, H., Matsui, G. and Saito, T., 1995., “*Pressure Drop Reduction of Liquid – Particles Two – Phase Flow with Nearly Equal Density*”, Proceeding of the 2nd International Conf. on Multiphase Flow, Kyoto, Japan.
4. Watanabe, K., 1991., “*Hydraulic and Pneumatic Conveyances of Solid Particles by a Spiral Tube*” The fourth Korea – Japan Powder Technology Seminar, pp. 117 – 124.
5. Watanabe, K., dan Zhang, Jie, 1997., “*Study on Gas-Liquid Two Phase in a Spiral Tube*” (*Computation of Trajectories of a single Bubble*), Journal No. 97 – 1. 1997 – 3.
6. Watanabe, K., Yanuar, Udagawa, H. 1999., “*Drag Reduction of Newtonian Fluid in a Circular Pipe With a highly Water-Repellent Wall*”, Journal Fluid Mech., Vol. 138, pp. 225 – 238. Cambridge University Press.