

Pengaruh Variasi Sambungan dan Katup terhadap Perubahan Kecepatan, *Pressure Drop* dan Koefisien Gesek pada Aliran Fluida dalam Pipa

Baharuddin^{1,*}, Balqis Shintarahayu¹, Yisrel Loyis Sialla¹

¹*Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia*

*Email: baharmarine@eng.unhas.ac.id

Abstrak

Untuk memindahkan fluida dari satu tempat menuju tempat lainnya memerlukan suatu wadah misalnya melalui sebuah instalasi pipa. Selain pipa sebagai wadah utama terdapat peralatan lain berupa sambungan pipa, katup-katup maupun instrumen pengukur lainnya dimana pada bagian ini justru menjadi faktor dan penyebab yang dapat mengurangi efisiensi pemindahan fluida tersebut. Dalam perencanaan sebuah instalasi pipa, sangat penting untuk memperhatikan karakteristik fluida serta pola alirannya dimana apabila fluida dilewatkan ke dalam pipa maka akan terjadi gesekan antara permukaan dalam pipa dengan fluida tersebut. Karakteristik aliran fluida akan diamati seperti *pressure drop* pada sambungan dan belokan pipa serta bukaan katup dengan menggunakan metode simulasi CFD. Model objek yang digunakan yakni set model jaringan pipa dengan variasi bukaan katup (100%, 75%, 50%) dan initial velocity (2 m/s, 2,5 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s). Hasil simulasi akan dianalisis pada enam titik pengambilan data tekanan dan kecepatan aliran pada komponen elbow radius besar, gate valve, elbow sudut patah, elbow radius kecil, reducer, dan ball valve. Hal lain yang diamati meliputi; perubahan kecepatan fluida, koefisien gesek, serta *pressure drop* yang terjadi dalam jaringan instalasi pipa. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa *pressure drop* tertinggi dijumpai pada katup jenis ball valve pada bukaan katup 50% yakni sebesar 80.794,48 Pa dan *pressure drop* terendah terdapat pada elbow radius kecil pada bukaan katup 50% yakni sebesar 588,7 Pa. Seyogyanya dalam setiap instalasi pipa agar dapat menghindari dan meminimalkan kedua jenis komponen fitting instalasi pipa tersebut.

Abstract

Effects of Fittings and Valves Variation on Flow Velocity, Pressure Drop, and Friction Coefficient in Pipelines. To move fluid from one place to another requires a medium, for example through a pipe installation. In addition to the pipe as the main medium, there are other equipment in the form of pipe connections, valves and other measuring instruments where this part actually becomes a factor and cause that can reduce the efficiency of the fluid transfer. In planning a pipe installation, it is very important to consider the characteristics of the fluid and its flow pattern where if the fluid is passed into the pipe, friction will occur between the surface in the pipe and the fluid. Fluid flow characteristics will be observed such as *pressure drop* at pipe joints and turns as well as valve position by using CFD simulation method. The object model used is a set of pipe network models with variations in valve position (100%, 75%, 50%) and initial velocity (2 m/s, 2.5 m/s, 3 m/s, 3.5 m/s). The simulation results will be analyzed at six data collection points for pressure and flow velocity on the components of the large radius elbow, gate valve, broken angle elbow, small radius elbow, reducer, and ball valve. Other things observed include; changes in fluid velocity, coefficient of friction, and *pressure drop* that occurs in the pipe installation network. Based on the analysis, it is found that the highest-*pressure drop* is found in the ball valve type at 50% valve position is 80,794.48 Pa and the lowest *pressure drop* is found in the small radius elbow at 50% valve position which is 588.7 Pa. It should be in every pipe installation in order to avoid and minimize the two types of pipe installation fitting components.

Kata Kunci: aliran fluida; initial velocity; pressure drop; simulasi ansys, computational fluid dynamic (CFD)

1. Pendahuluan

Perkembangan kajian di bidang aliran fluida dalam pipa terus berkembang dan sudah cukup banyak hasil kajian tersebut digunakan untuk kebutuhan praktis maupun penggunaannya dalam

bidang industri [1]. Perkembangan yang pesat ini telah mendorong para ahli untuk membuat kajian aliran dalam pipa yang lebih praktis dan efisien. Saat ini bukanlah hal yang baru lagi apabila menemui paket-paket penyelesaian masalah aliran fluida dalam

bentuk program-program komputer. Sebagai contoh, dalam perhitungan kecepatan, debit, drop tekanan, perhitungan kerugian-kerugian (*losses*), dan lain-lain. Hampir semua telah tersedia dan dapat diperoleh dalam bentuk paket program, tergantung pada kebutuhan apa yang hendak dihitung.

Mengetahui tingkat akurasi persamaan-persamaan empiris pada kajian aliran dalam pipa sangat penting terutama untuk menghemat biaya instalasi perpipaan secara keseluruhan [2]. Salah satu cara yang dapat ditempuh untuk menguji keakuratan persamaan-persamaan teoritis tersebut adalah melalui simulasi komputer yang sudah begitu berkembang.

Untuk dapat memindahkan fluida dari tempat menuju tempat lainnya memerlukan suatu wadah misalnya melalui sebuah instalasi pipa. Selain pipa sebagai wadah utama terdapat peralatan lain berupa sambungan pipa, katup-katup maupun instrumen pengukur lainnya dimana pada bagian ini justru menjadi faktor dan penyebab yang mengurangi efisiensi pemindahan fluida tersebut [3]. Dalam perencanaan sebuah instalasi pipa, sangat penting untuk memperhatikan karakteristik fluida yang akan dipindahkan, misalnya: sifat korosif, *explosive*, racun, suhu dan tekanan. Apabila fluida dilewatkan ke dalam pipa maka akan terjadi gesekan antara permukaan dalam pipa dengan fluida tersebut [4]. Besarnya gesekan yang terjadi tergantung pada kecepatan aliran, kekasaran pipa, diameter dan viskositas fluida yang itu sendiri [5].

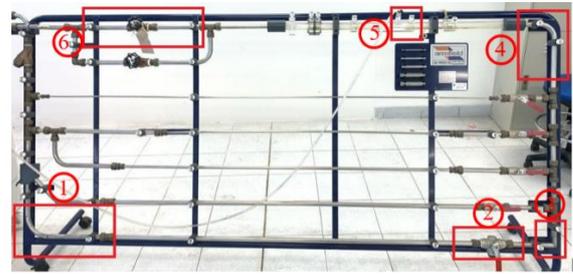
Dalam perencanaan sebuah instalasi pipa, sangat penting untuk mengetahui bentuk-bentuk kerugian energi serta besar kerugian tersebut, kaitannya dengan penyediaan tenaga pompa yang cukup untuk menghisap ataupun menekan aliran fluida dalam pipa [6]. Kerugian-kerugian tersebut diakibatkan oleh adanya gesekan dengan dinding, perubahan luas penampang, sambungan, katup-katup, belokan pipa dan kerugian-kerugian khusus lainnya. Pada belokan atau lengkungan pipa, kerugian energi aliran akan lebih besar dibanding pada pipa lurus [7].

Berangkat dari permasalahan tersebut penting untuk menganalisa bagaimana pengaruh berbagai bentuk sambungan pipa (*fitting*) terhadap perubahan kecepatan aliran fluida, pola aliran fluida, koefisien gesek permukaan pipa, serta *pressure drop* yang terjadi pada aliran fluida dalam sebuah instalasi pipa. Untuk tujuan tersebut akan dilakukan melalui metode simulasi dengan *computational fluid dynamics* (CFD).

2. Metodologi

Metode simulasi CFD dikembangkan dengan model dasar jaringan instalasi pipa sebagaimana yang terdapat di laboratorium Mesin Fluida, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Perilaku aliran

fluida akan diamati sebagaimana bagian-bagian yang telah diberi tanda pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Jaringan Instalasi Pipa Lab. Mesin Fluida, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Unhas

Batasan kecepatan fluida diatur dan dikendalikan melalui mekanisme bukaan katup, dimana akan disetting dalam 3 (tiga) keadaan bukaan katup yakni; bukaan katup 100%, 75% dan 50%. Katup-katup dan sambungan pipa terhubung dalam jaringan pipa dengan diameter 1,5 cm. Letak dan panjang titik pengukuran sebagai berikut:

1. Pipa dengan *elbow* radius besar : 0,403 m
2. Pipa dengan *gate valve* : 0,41 m
3. Pipa dengan *elbow* sudut patah : 0,16 m
4. Pipa dengan *elbow* radius kecil : 0,143 m
5. Pipa *reducer* : 0,055 m
6. Pipa dengan *ball valve* : 0,435 m

Selanjutnya data-data di atas menjadi batasan dan data input dalam simulasi Ansys (CFD) dengan tahapan analisis sebagai berikut [8];

- Proses pembuatan model geometri pipa dengan *Rhynoceros 7* dan *workbench Ansys 18.1*, mengidentifikasi dan memberi tanda pada item sesuai batasan parameter input proses simulasi.
- Proses *meshing geometry* adalah pemberian batasan-batasan berupa grid yang berbentuk jaring-jaring dimana grid ini akan menentukan tingkat keakuratan proses simulasi.
- Proses *Setup CFX*, dimana pada tahapan ini akan dilakukan pembatasan (kondisi batas) di setiap domain fluida, dan terbagi menjadi *fluid domains* dan *boundary condition*.

Laju aliran fluida dihitung sebagai fungsi dari debit aliran terhadap luas penampang pipa yang dilewati dan dirumuskan sebagai berikut [9]. Diperoleh hasil bahwa laju aliran fluida terus berangsur naik sebelum melewati belokan pipa, dan laju alirannya akan menurun saat melewati belokan pipa meskipun tidak terlalu signifikan. Beda halnya dengan tekanan fluida yang terus menurun dari mulai aliran fluida masuk hingga aliran keluar fluida. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti yaitu gesekan antara fluida dengan dinding pipa dan terjadinya perubahan pada pola aliran yang menyebabkan penurunan tekanan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pola Aliran Fluida dalam Pipa

Pola aliran fluida yang mengalir dalam penampang pipa diketahui melalui angka Reynold (Re). Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 di bawah ini berisi angka Reynold pada jenis sambungan dan jenis katup pada bukaan katup 100%, 75%, dan 50% dengan *initial velocity* sebesar 2 m/s hingga kecepatan 3,75 m/s.

Tabel 1. Bilangan Reynold pada bukaan katup 100%

Jenis Sambungan Pipa dan Katup	Initial Velocity (m/s)	Re v=2.5 m/s	Re v=3.0 m/s	Re v=3.5 m/s	Re v=3.75 m/s
Elbow radius besar	2	38.438	48.610	56.450	67.581
Gate valve	2	40.700	50.960	59.422	71.235
Elbow radius kecil	2	38.561	48.423	56.185	67.297
Reducer	2	13.692	18.410	21.219	25.389
Elbow sudut patah	2	40.132	50.260	58.589	70.239
Ball valve	2	39.602	49.465	57.737	69.171

Tabel 2. Bilangan Reynold pada bukaan katup 75%

Jenis Sambungan Pipa dan Katup	Initial Velocity (m/s)	Re v=2.5 m/s	Re v=3.0 m/s	Re v=3.5 m/s	Re v=3.75 m/s
Elbow radius besar	2	38.561	48.234	56.298	67.411
Gate valve	2	36.819	46.000	53.724	64.401
Elbow radius kecil	2	38.561	48.196	56.261	67.392
Reducer	2	11.655	19.271	22.546	25.142
Elbow sudut patah	2	32.484	49.900	58.286	69.853
Ball valve	2	30.387	49.911	57.686	65.442

Tabel 3. Bilangan Reynold pada bukaan katup 50%

Jenis Sambungan Pipa dan Katup	Re v=2.5 m/s	Re v=3.0 m/s	Re v=3.5 m/s	Re v=3.75 m/s	Re v=2.5 m/s
Elbow radius besar	2	38.485	48.139	56.526	67.524
Gate valve	2	37.027	46.303	54.027	64.760
Elbow radius kecil	2	38.504	48.158	56.261	67.373
Reducer	2	15.276	19.176	22.735	27.032
Elbow sudut patah	2	39.962	49.957	58.419	69.985
Ball valve	2	37.501	46.890	54.784	65.688

Berdasarkan angka Reynold yang diperoleh dapat dipastikan bahwa aliran yang terjadi dalam pipa maupun sambungan pipa dan katup adalah aliran acak (*turbulent*). Pola aliran akan semakin turbulen saat kecepatan fluida ditingkatkan.

3.2. Pressure Drop Aliran dalam Pipa

Estimasi *pressure drop* pada bukaan katup 100%, 75%, 50% pada kecepatan fluida 2,5 m/s, 3,0 m/s, 3,5 m/s, serta 3,75 m/s, dapat dilihat pada isi Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

Tabel 4. Pressure drop pada bukaan katup 100%

Jenis Sambungan Pipa dan Katup	Initial Velocity (m/s)	Δp (Pa) v=2,5 m/s	Δp (Pa) v=3,0 m/s	Δp (Pa) v=3,5 m/s	Δp (Pa) v=3,75 m/s
Elbow radius besar	2	2.763	4.263	5.754	8.172
Gate valve	2	939	1.461	1.996	2.863
Elbow radius kecil	2	607	911	1.177	1.616
Reducer	2	2.598	4.057	5.517	7.914
Elbow sudut patah	2	2.386	3.802	5.044	7.204
Ball valve	2	709	1.049	1.388	1.925

Tabel 5. Pressure drop pada bukaan katup 50%

Jenis Sambungan Pipa dan Katup	Initial Velocity (m/s)	Δp (Pa) v=2,5 m/s	Δp (Pa) v=3,0 m/s	Δp (Pa) v=3,5 m/s	Δp (Pa) v=3,75 m/s
Elbow radius besar	2	2.687	4.144	5.606	7.881
Gate valve	2	1.403	2.213	3.022	4.336
Elbow radius kecil	2	619	929	1.223	1.684
Reducer	2	2.601	4.049	5.514	7.911
Elbow sudut patah	2	2.322	3.664	4.995	7.132
Ball valve	2	3.137	4.865	6.576	9.312

Tabel 6. Pressure drop pada bukaan katup 50%

Jenis Sambungan Pipa dan Katup	Initial Velocity (m/s)	Δp (Pa) v=2,5 m/s	Δp (Pa) v=3,0 m/s	Δp (Pa) v=3,5 m/s	Δp (Pa) v=3,75 m/s
Elbow radius besar	2	2.631	4.059	5.474	7.774
Gate valve	2	4.618	7.325	10.296	14.632
Elbow radius kecil	2	588	886	1.176	1.613
Reducer	2	2.612	4.063	5.518	7.922
Elbow sudut patah	2	2.253	3.573	5.052	7.150
Ball valve	2	26.225	41.062	56.135	80.794

3.3. Koefisien Gesek Permukaan dalam Pipa

Koefisien gesek permukaan dalam pipa cenderung konstan dan tidak dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida yang mengalir di dalamnya. Namun demikian hambatan gesek yang dialami fluida sangat tergantung pada nilai viskositas dari fluida itu sendiri. Hasil estimasi *koefisien gesek* pada bukaan katup 100%, 75%, 50% dengan kecepatan fluida 2,5 m/s, 3,0 m/s, 3,5 m/s, serta 3,75 m/s, dapat dilihat pada isi Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9.

Tabel 7. Koefisien gesek pada bukaan katup 100%

Jenis Sambungan Pipa dan Katup	Initial Velocity (m/s)	f v=2,5 m/s	f v=3,0 m/s	f v=3,5 m/s	f v=3,75 m/s
Elbow radius besar	2	0.052	0.051	0.048	0.050
Gate valve	2	0.017	0.017	0.016	0.017
Elbow radius kecil	2	0.032	0.031	0.028	0.028
Reducer	2	0.355	0.355	0.335	0.353
Elbow sudut patah	2	0.112	0.114	0.105	0.111
Ball valve	2	0.012	0.012	0.011	0.011

Tabel 8. Koefisien gesek pada bukaan katup 75%

Jenis Sambungan Pipa dan Katup	Initial Velocity (m/s)	f v=2,5 m/s	f v=3,0 m/s	f v=3,5 m/s	f v=3,75 m/s
Elbow radius besar	2	0,049	0,048	0,045	0,050
Gate valve	2	0,085	0,086	0,084	0,088
Elbow radius kecil	2	0,031	0,030	0,028	0,028
Reducer	2	0,357	0,356	0,335	0,354
Elbow sudut patah	2	0,106	0,108	0,106	0,110
Ball valve	2	0,454	0,454	0,431	0,456

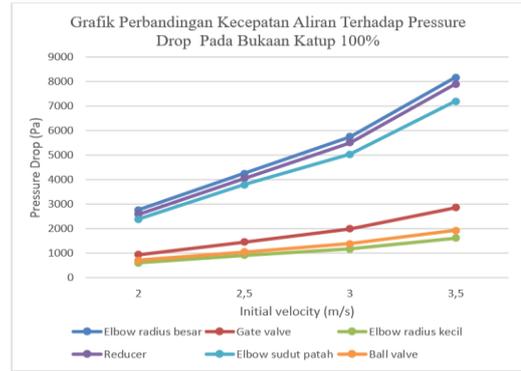
Tabel 9. Koefisien gesek pada bukaan katup 50%

Jenis Sambungan Pipa dan Katup	Initial Velocity (m/s)	f v=2,5 m/s	f v=3,0 m/s	f v=3,5 m/s	f v=3,75 m/s
Elbow radius besar	2	0,050	0,050	0,047	0,050
Gate valve	2	0,026	0,026	0,025	0,026
Elbow radius kecil	2	0,033	0,031	0,029	0,029
Reducer	2	0,356	0,355	0,335	0,353
Elbow sudut patah	2	0,109	0,110	0,104	0,109
Ball valve	2	0,054	0,054	0,051	0,053

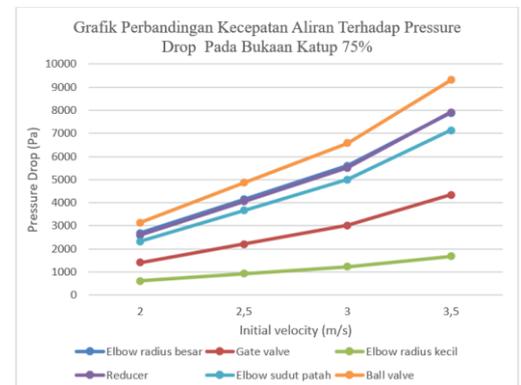
Berdasarkan data yang termuat di tabel-tabel sebelumnya dapat diamati bahwa pada bukaan katup 100% pada tiap *initial velocity*, kecepatan aliran cenderung mengalami kenaikan pada belokan dan pada katup seperti pada pipa elbow radius besar sebesar 0,172 m/s, *gate valve* sebesar 0,015 m/s, pipa *reducer* sebesar 2,72 m/s dan pada *ball valve* sebesar 0,0007 m/s. namun cenderung mengalami penurunan kecepatan pada pipa *elbow radius kecil* sebesar 0,088 m/s dan pada pipa *elbow sudut patah* sebesar 0,4094 m/s hal ini dikarenakan pada pipa mengalami hambatan yang drastis dan gesekan pada dinding pipa serta adanya gaya gravitasi yang mempengaruhi penurunan kecepatan pada titik tersebut. Sama halnya yang terjadi pada pipa bukaan katup 75% dan pipa bukaan katup 50%.

Kemudian pada tabel yang lain terlihat bahwa nilai *pressure drop* bukaan katup 100% pada tiap *initial velocity*, *pressure drop* cenderung mengalami kenaikan tertinggi terdapat pada pipa elbow radius besar sebesar 8.172 Pa, pipa *reducer* sebesar 4.057 Pa, dan pada pipa elbow sudut patah sebesar 3.802 Pa. Namun berbeda halnya pada pipa bukaan katup 50% pada tiap *initial velocity*. *Pressure drop* cenderung mengalami kenaikan tertinggi pada katup yaitu pada jenis *ball valve* sebesar 80.796 Pa dan pada *gate valve* sebesar 14.632 Pa.

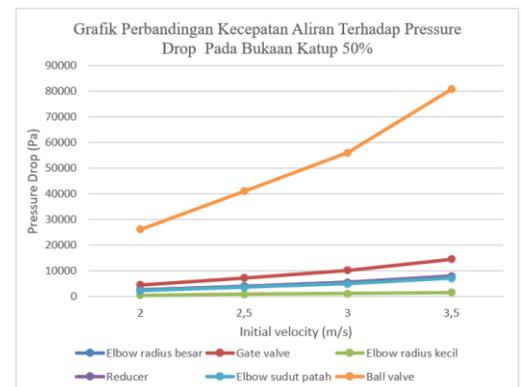
Dari hasil simulasi ini dapat diketahui bahwa *pressure drop* (penurunan tekanan) sangat dipengaruhi oleh faktor bukaan katup, dimana semakin besar bukaan katup maka *pressure drop* yang dihasilkan semakin kecil sebaliknya, semakin kecil bukaan katup maka *pressure* yang dihasilkan semakin besar pada keadaan *velocity* yang konstan.



Gambar 2. Grafik karakteristik initial velocity terhadap pressure drop pada bukaan katup 100%



Gambar 3. Grafik karakteristik initial velocity terhadap pressure drop pada bukaan katup 75%



Gambar 4. Grafik karakteristik initial velocity terhadap pressure drop pada bukaan katup 50%

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa *initial velocity* juga berbanding lurus dengan *pressure drop* dimana apabila *initial velocity* dinaikkan akan diikuti kenaikan *pressure drop*nya begitupun sebaliknya. Pada grafik juga didapatkan bahwa bukaan katup mempengaruhi *pressure drop*nya, terlihat pada bukaan katup 50% *gate valve* dan *ball valve* memiliki *pressure drop* tertinggi dibandingkan dengan pada pipa radius (belokan), sedangkan pada bukaan 100% pipa radius (belokan) memiliki nilai *pressure drop* tertinggi jika dibandingkan dengan *gate valve* dan *ball valve*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan bahwa *Initial velocity* berpengaruh langsung dan tegak berbanding lurus dengan *pressure drop* dimana semakin tinggi kecepatan aliran akan menaikkan *pressure drop*nya. Pola aliran fluida pada sabungan *elbow*, *reducer* dan katup cenderung akan selalu turbulen dikarenakan diameter pipa yang kecil sedangkan laju aliran bernilai tinggi. Koefisien gesek cenderung tidak dipengaruhi oleh kecepatan fluida, semakin kecil kecepatan aliran akan menghasilkan nilai koefisien gesek yang cenderung konstan.

Referensi

- [1] P. M. Gerhart and R. J. Gross, *Fundamentals of Fluid Mechanics*. Addison-Wesley Publishing Company, 1985.
- [2] F. A. Masyuda, "Analisa Kerugian Head Losses dan Friction pada Sistem Perpipaan Beda Jenis Valve dengan Variasi Bukaannya Valve," Universitas Muhammadiyah Malang, 2018.
- [3] Raswari, *Teknologi dan Perancangan Sistem Perpipaan*. Jakarta: UI Press, 1986.
- [4] K. L. Kumar, *Engineering Fluid Mechanics*. New Delhi: S. Chand Limited, 2000.
- [5] H. Exner, *Basic Principles and Components of Fluid Technology*. Aschaffenburg: Mannesmann Rexroth, 1978.
- [6] B. R. Munson, D. F. Young, and T. H. Okiishi, *Fundamentals of Fluid Mechanics*. J. Wiley, 2001.
- [7] A. White, "Turbulent Drag Reduction With Polymer Additives," *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 8, 1966.
- [8] S. Yanuar and Joko, "Koefisien Gesek Pipa Kasar dengan Biopolimer Guar Gum," *J. Teknol.*, vol. 21, pp. 125–134, 2007.
- [9] A. J. Smits, *Physical Introduction to Fluid Mechanics*. California: Wiley, 2000.