

Analisis Penurunan *Head Losses* Pada Simpul Pipa *Expansion Loop* Vertikal Dengan Variasi Tinggi Dan Lebar Simpul (*Analisis Redution Head Losses In Pipe Expansion Loop Vertical With Variaton High And Width Loop*)

Bagus Krida Pratama Mahardika¹, Digdo Listyadi Setiawan², Andi Sanata²

¹Alumni Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

Jln. Kalimantan 37, Jember 68121

E-mail: digdo_listya@yahoo.com

Abstrak

Sistem perpipaan adalah suatu alat yang banyak digunakan pelaku industri pada saat ini. Sistem perpipaan adalah suatu alat digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lainnya, misalnya katup atau kran, penampang berubah, belokan 90⁰, dan belokan 180⁰. Salah satu permasalahan tersebut adalah terjadinya *head losses* pada simpul pipa *expansion loop* yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*). Tujuan dari penelitian untuk mengetahui variasi simpul pipa *expansion loop* terhadap: 1) penurunan nilai tekanan setelah simpul pipa *expansion loop*, 2) penurunan nilai *head losses* setelah simpul pipa *expansion loop*, 3) mengetahui hubungan antara nilai *head losses* dan variasi kecepatan. Penelitian ini dilakukan secara experimental dengan memvariasi tinggi dan lebar simpul pipa *expansion loop* dan variasi kecepatan blower. Hasil penelitian ini didapat bahwa pengaruh variasi simpul pipa *expansion loop* vertikal dengan variasi tinggi dan lebar simpul akan mempengaruhi kecepatan, tekanan, dan *head losses minor*. Kecepatan fluida pada setiap titik pengukuran mengalami fluktuasi yang bervariasi dan cenderung mengalami penurunan kecepatan bergantung pada variasi simpul pipa *expansion loop* yang digunakan. Tekanan yang dihasilkan variasi simpul pipa *expansion loop* cenderung mengalami penurunan. Dan *head losses minor* dari simpul pipa *expansion loop* mengalami peningkatan bergantung pada variasi simpul pipa *expansion loop* dan variasi kecepatan.

Kata Kunci: Pipa, Aliran Fluida, head losses, expansion loop.

Abstract

today piping system is a tool that is widely used in the industry. Piping system is a device used to move fluids from one place to another, for example the valve, reducer, elbow 90o and 180o. One of these problems is the head losses in the pipe expansion loop that causes a decrease in pressure (pressure drop). The purpose from research to know variation of the pipe expansion loop to: 1) Decrease in the value of pressure after the pipe expansion loop, 2) Decline in value head losses after the pipe expansion loop, 3) Know the correlation between the value of head losses and variable speed . Experimental research was carried out by varying the height and width of the pipe expansion loop and variable speed blower. The results of this research found that the effect of variations in pipe expansion loop vertical with a height and width variations will be affect the speed, pressure, and minor head losses. Fluid velocity at each measurement point fluctuated varied and tend to decrease the speed depends on the variation of the pipe expansion loop is used. The resulting pressure pipe expansion loop variations tend to decrease. And minor head losses of the pipe expansion loop increase depends on the variation of the pipe expansion loop and speed variations.

Keywords: Pipe, Flow, head losses, expansion loop.

Pendahuluan

Mekanika fluida adalah disiplin ilmu bagian dari bidang mekanika terapan yang mengkaji perilaku dari zat-zat cair dan gas dalam keadaan diam ataupun bergerak. Bidang mekanika ini jelas mencakup berbagai persoalan yang sangat bervariasi, salah satunya adalah aliran dalam pipa. Aliran dalam pipa merupakan salah satu cara transportasi untuk membawa material dari satu tempat ke tempat lain. Hal ini berhubungan dengan bermacam pipa dan bermacam tipe fluida yang akan dialirkan. Energi yang diperlukan untuk mentransfer fluida tersebut. Berbagai jenis ukuran, material, penggunaan, ketahanan, dan kekerasan permukaan

bagian dalam pipa merupakan hal penting dalam penggunaan komersial pada sistem perpipaan [1].

Dewasa ini sistem perpipaan dapat ditemukan hampir pada semua jenis industri, baik di industri yang membutuhkan saluran pipa untuk mengalirkan fluida, di perusahaan air minum, dan industri perminyakan. Terdapat banyak variasi sistem perpipaan mulai dari sistem pipa tunggal yang sederhana sampai sistem pipa bercabang yang sangat kompleks. Antara lain, saringan (*strainer*), katup atau kran, sambungan, *Reducer*, clamp saddle, nozel, *expansion loop*, wellhead, dan sebagainya. Sambungan dapat berupa penampang berubah (*Reducer*), belokan 30⁰, 45⁰, 60⁰, 90⁰,

180⁰ (elbow/bend 30⁰, 45⁰, 60⁰, 90⁰, 180⁰), knie, double neple, klame saddle, gible joint dan sambungan T (tee) [2].

Pipa pada sistem perpipaan tersebut mengalirkan fluida panas seperti air dan gas yang memiliki suhu yang lebih tinggi dari suhu lingkungan. Dengan adanya perbedaan suhu tersebut, maka pipa akan mengalami pemuaian. Pemuaian dapat menyebabkan peningkatan tegangan yang berlebihan, terutama pada daerah sambungan pipa. Pada kondisi ekstrim, pemuaian dapat menyebabkan keretakan. Oleh karena itu, dilakukan inovasi dengan membuat simpul (loop) pada pipa. Pemuaian dapat ditahan dengan adanya simpul pada pipa (expansion loop), dimana berliner tidak menghitung pengaruh expansion loop terhadap aliran di dalamnya [3].

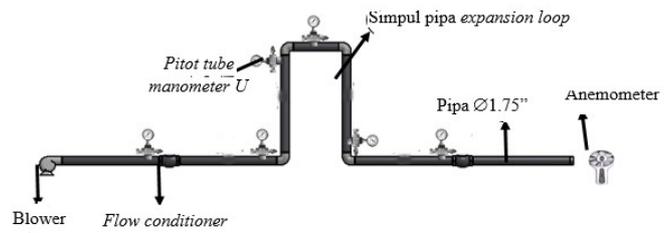
Aliran fluida pada kenyataannya mengalami penurunan tekanan seiring dengan panjang pipa yang dilalui fluida tersebut. Penurunan tekanan dalam pipa ini sangat penting untuk diketahui guna merancang sistem perpipaan. Salah satu permasalahan tersebut adalah terjadinya head losses pada simpul pipa expansion loop yang mengakibatkan terjadinya penurunan tekanan (pressure drop). Penurunan tekanan ini terjadi akibat adanya turbulensi aliran yang akan menimbulkan gesekan besar pada dinding pipa. Hal ini menjadi kajian menarik untuk dapat mengetahui nilai head losses yang terjadi dan kemudian membandingkan head losses dengan variasi jarak antara tinggi dan lebar simpul pipa expansion loop.

Pada penelitian yang telah dilakukan dengan penggunaan return bend/expansion loop 180⁰ non tube bundle. Variabel yang digunakan adalah variasi jarak dan diameter tube bundle serta penggunaan non tube bundle [4]. Pada pengujian pertama dengan bukaan katup 1/3 debit aliran 0,000259 m³/s h rata-rata 0,0196 m, selain itu pada setiap titik pengujian terus mengalami peningkatan kerugian. Pada pengujian ketiga dengan bukaan penuh debit aliran 0.001822 m³/s h rata-rata 0,6708 m.

Dari penelitian tersebut, perlu dilakukan penelitian lebih jauh tentang Analisa Penurunan Head Losses pada simpul Pipa Expansion Loop Vertikal Dengan Variasi tinggi dan lebar simpul pipa expansion loop. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kerugian head pada simpul pipa expansion loop yang kemudian dibandingkan dengan perbedaan tinggi dan lebar simpul pipa expansion loop.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yaitu metode yang digunakan untuk menguji pengaruh penggunaan variasi tinggi dan lebar simpul pipa expansion loop terhadap penurunan head losses pada simpul pipa expansion loop. Kemudian memasang alat pengujian yaitu simpul pipa expansion loop dan blower, serta memasang alat ukur pada simpul pipa tersebut. Skema alat uji dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema alat uji

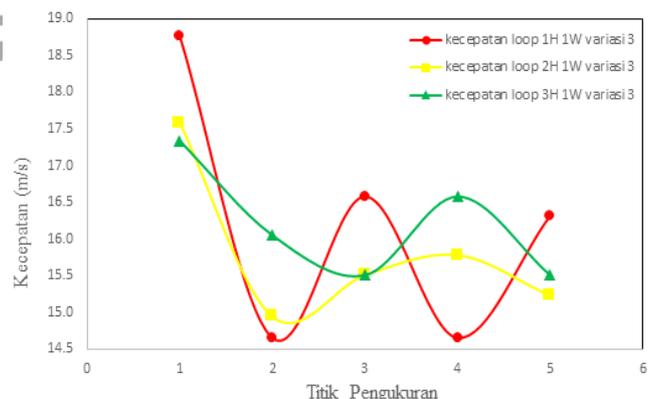
Penelitian ini menggunakan variasi tinggi dan lebar simpul pipa expansion loop dengan simbol (H dan W), dengan tinggi (H) dan lebar (W) yaitu tinggi (H) 22.5 cm, lebar (W) 22.5 cm, radius lengkung Elbow 1,5 diameter pipa. Selain itu juga menggunakan variasi kecepatan dengan cara mengatur tegangan voltage pada blower yaitu 68 volt, 109 volt, 202 volt. Dalam penelitian ini menggunakan 9 variasi simpul pipa expansion loop, yaitu: 1H 1W, 1H 2W, 1H 3W, 2H 1W, 2H 2W, 2H 3W, 3H 1W, 3H 2W, 3H 3W.

Dari hasil pengambilan data diperoleh nilai beda ketinggian (Δh) perbandingan tekanan fluida udara pada pitot tube, dan beda ketinggian (Δh) tekanan statis. Dari hasil yang diperoleh tersebut dapat dijadikan sebagai dasar untuk menghitung tekanan (p), debit (Q), dan head losses (hm) sesuai dengan rumus- rumus yang telah ditentukan. Setelah diperoleh hasil dari perhitungan tersebut akan dibandingkan dengan menggunakan grafik nilai kecepatan, tekanan, dan head losses variasi simpul pipa expansion loop.

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ini diperoleh data atau informasi dan hasil dari variasi simpul pipa expansion loop tersebut. Dengan cara membandingkan tinggi dan lebar dari simpul pipa expansion loop. Hasil penelitian adalah sebagai berikut.

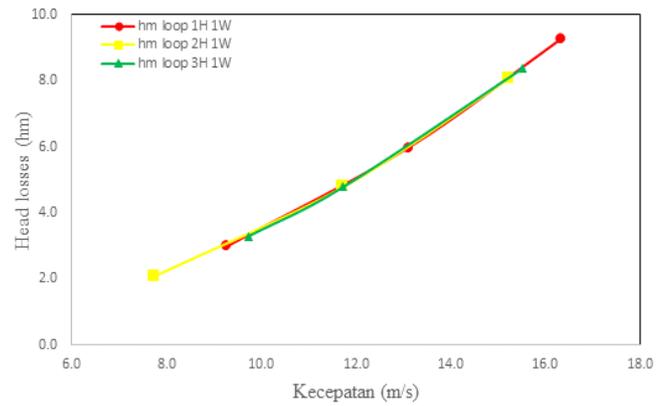
Pembahasan variasi simpul expansion loop 1H 1W, 2H 1W, 3H 1W



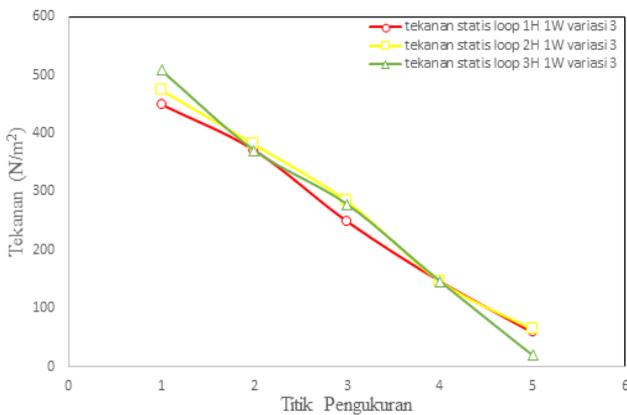
Gambar 2 Grafik kecepatan fluida udara variasi 1H 1W, 2H 1W, dan 3H 1W pada setiap titik pengukuran

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa kecepatan fluida pada setiap titik pengukuran mengalami fluktuasi yang

bervariasi dan cenderung mengalami penurunan kecepatan bergantung pada variasi simpul pipa expansion loop yang digunakan. Penurunan kecepatan ini dipengaruhi oleh pola aliran pada titik pengukuran tersebut. Secara teori pola aliran dipengaruhi oleh panjang pipa dan kecepatan awal aliran fluida tersebut. Pada Gambar grafik terlihat bahwa yang mengalami fluktuasi paling kecil dan cenderung lebih stabil kecepatan alirannya adalah pada variasi 2H dan 1W. Hal ini didasarkan pada perbandingan kecepatan (Δv) pada setiap titik pengukuran variasi 2H 1W yaitu (-2,641; 0,564; 0,275; -0,554) jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan variasi 1H 1W, dan 3H 1W yaitu (-4,113; 1,925; -1,925; 1,664) dan (-1,286; -0,544; 1,071; -1,071) dengan asumsi nilai negatif (-) mengalami penurunan kecepatan dan nilai positif (+) mengalami peningkatan kecepatan.



Gambar 4 Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap head losses dengan variasi simpul pipa expansion loop 1H 1W, 2H 1W, 3H 1W

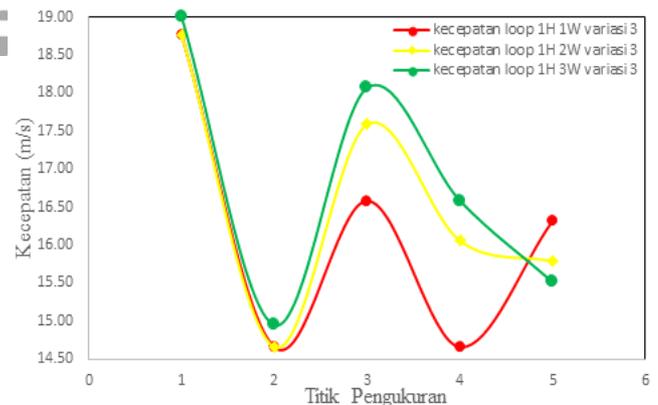


Gambar 3 Grafik tekanan fluida udara variasi 1H 1W, 2H 1W, dan 3H 1W pada setiap titik pengukuran

Pada Gambar 3 terlihat bahwa tekanan variasi simpul pipa expansion loop 1H 1W, 2H 1W, dan 3H 1W juga mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena panjang pipa dan bentuk dari simpul pipa expansion loop. Friction loss atau kehilangan energi akibat gesekan pada pipa dan sambungan, dan perbedaan elevasi menyebabkan tekanan menurun pada akhir titik pengukuran. Dari Gambar grafik tersebut terlihat bahwa yang mengalami penurunan tekanan (pressure drop) paling kecil adalah variasi simpul pipa expansion loop 1H 1W yaitu 390,605 N/m², sementara penurunan tekanan (pressure drop) pada variasi 2H 1W, dan 3H 1W masing-masing adalah 410,136 N/m², dan 488,257 N/m². Akan tetapi dari Gambar grafik tersebut juga terlihat bahwa yang mempunyai tekanan keluar paling besar adalah variasi 2H 1W dengan 63,473 N/m², sementara tekanan keluar variasi 1H 1W dan 3H 1W adalah 58,591 N/m², dan 19,53 N/m².

Pada Gambar 4 memperlihatkan head losses minor yang terjadi pada variasi simpul pipa expansion loop 1H 1W, 2H 1W, dan 3H 1W. Dari Gambar grafik dapat dilihat bahwa bentuk variasi simpul pipa expansion loop mempengaruhi kecepatan dan head losses yang terjadi. Pada kecepatan fluida rendah maka nilai head losses akan rendah dan sebaliknya apabila kecepatan fluida tinggi maka nilai head losses akan tinggi pula. Kecepatan fluida dan nilai head losses pada variasi 2H 1W memiliki nilai yang paling rendah yaitu pada kecepatan 7,755 m/s memiliki nilai head losses 2,091 m, dan pada kecepatan 15,23 m/s memiliki nilai head losses 8,066 m. sedangkan untuk variasi 1H 1W dan 3H 1W memiliki kecepatan fluida dan head losses yang lebih tinggi. Pada variasi 1H 1W memiliki kecepatan fluida terendah 9,269 m/s dan nilai head losses 2,987 m, kecepatan fluida tertinggi 16,32 m/s dan nilai head losses 9,261 m. pada variasi 3H 1W memiliki kecepatan fluida terendah 9,721 m/s dan nilai head losses 3,286 m, kecepatan fluida tertinggi 15,51 m/s dan nilai head losses 8,365 m.

Pembahasan variasi simpul *expansion loop* 1H 1W, 1H 2W, 1H 3W

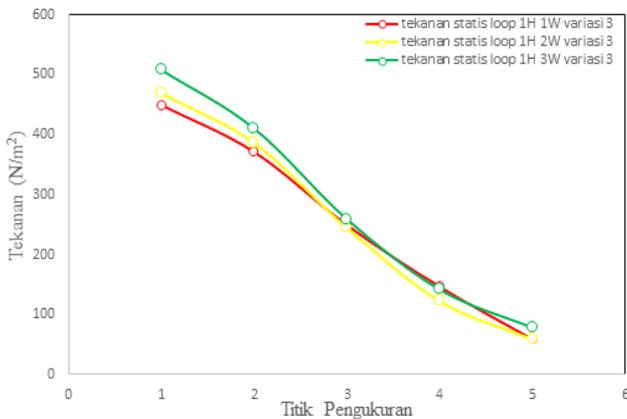


Gambar 5 Grafik kecepatan fluida udara variasi 1H 1W, 1H 2W, dan 1H 3W pada setiap titik pengukuran

Pada Gambar 5 terlihat bahwa yang mengalami fluktuasi paling kecil dan cenderung lebih stabil kecepatan

aliran keluarnya adalah pada variasi 1H dan 2W. Hal ini didasarkan pada perbandingan kecepatan (Δv) pada setiap titik pengukuran variasi 1H 2W yaitu (-4,113; 2,931; -1,532; -0,27) lebih kecil jika dibandingkan dengan variasi 1H 1W, dan 1H 3W yaitu (-4,113; 1,925; -1,925; 1,664) dan (-4,05; 3,123; -1,488; -1,071) dengan asumsi nilai negatif (-) mengalami penurunan kecepatan dan nilai positif (+) mengalami peningkatan kecepatan.

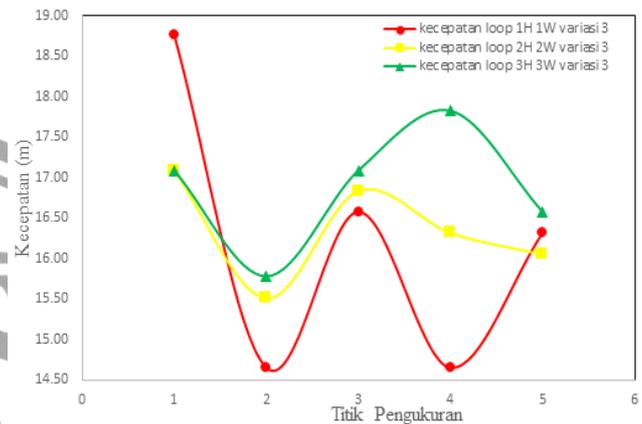
1H 1W dan 1H 2W memiliki kecepatan fluida dan head losses yang lebih tinggi. Pada variasi 1H 1W memiliki kecepatan fluida terendah 9,269 m/s dan nilai head losses 2,987 m, kecepatan fluida tertinggi 16,32 m/s dan nilai head losses 9,261 m. pada variasi 1H 2W memiliki kecepatan fluida terendah 10,154 m/s dan nilai head losses 3,585 m, kecepatan fluida tertinggi 15,784 m/s dan nilai head losses 8,663 m.



Gambar 6 Grafik tekanan fluida udara variasi 1H 1W, 1H 2W, dan 1H 3W pada setiap titik pengukuran

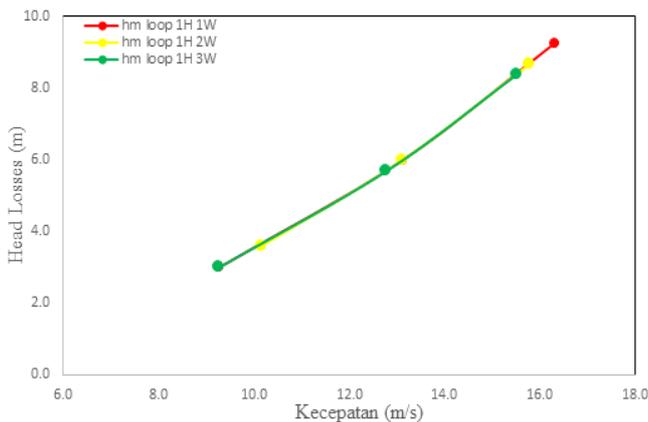
Pada Gambar 6 terlihat bahwa yang mengalami penurunan tekanan (pressure drop) paling kecil adalah variasi simpul pipa expansion loop 1H 1W yaitu 390,605 N/m², sementara penurunan tekanan (pressure drop) pada variasi 1H 2W, dan 1H 3W masing-masing adalah 410,136 N/m², dan 429,666 N/m². Akan tetapi dari Gambar grafik tersebut juga terlihat bahwa yang mempunyai tekanan keluar paling besar adalah variasi 1H 3W dengan 78,121 N/m², sementara tekanan keluar variasi 1H 1W dan 1H 2W adalah 58,591 N/m², dan 58,591 N/m².

Pembahasan variasi simpul expansion loop 1H 1W, 2H 2W, 3H 3W



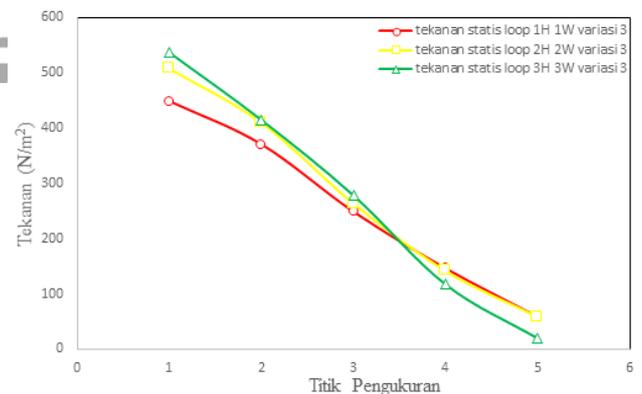
Gambar 8 Grafik kecepatan fluida udara variasi 1H 1W, 2H 2W, dan 3H 3W pada setiap titik pengukuran

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa yang mengalami fluktuasi paling kecil dan cenderung lebih stabil kecepatan alirannya adalah pada variasi 2H dan 2W. Hal ini didasarkan pada perbandingan kecepatan (Δv) pada setiap titik pengukuran variasi 2H 2W yaitu (-1,581; 1,328; -0,518; -0,265) jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan variasi 1H 1W, dan 3H 3W yaitu (-4,113; 1,925; -1,925; 1,664) dan (-1,307; 1,307; 0,738; -1,248) dengan asumsi nilai negatif (-) mengalami penurunan kecepatan dan nilai positif (+) mengalami peningkatan kecepatan.



Gambar 7 Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap head losses dengan variasi simpul pipa expansion loop 1H 1W, 1H 2W, 1H 3W

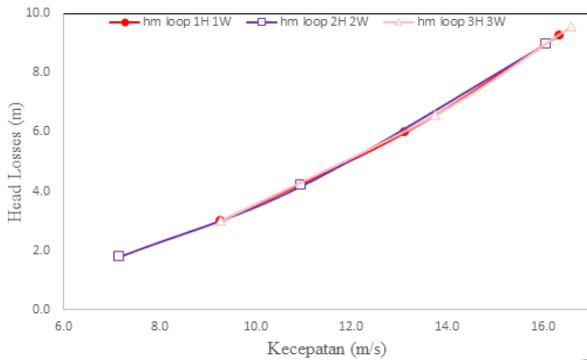
Pada Gambar 7 memperlihatkan kecepatan fluida dan nilai head losses pada variasi 1H 3W memiliki nilai yang paling rendah yaitu pada kecepatan 9,269 m/s memiliki nilai head losses 2,987 m, dan pada kecepatan 15,51 m/s memiliki nilai head losses 8,365 m. sedangkan untuk variasi



Gambar 9 Grafik tekanan fluida udara variasi 1H 1W, 2H 2W, dan 3H 3W pada setiap titik pengukuran

Pada Gambar 9 terlihat bahwa yang mengalami penurunan tekanan (pressure drop) paling kecil adalah variasi simpul pipa expansion loop 1H 1W yaitu 390,605

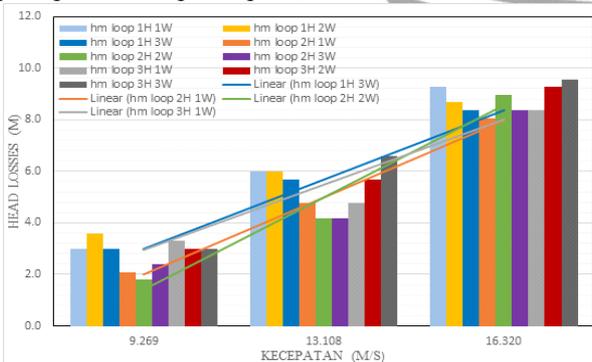
N/m², sementara penurunan tekanan (pressure drop) pada variasi 2H 2W, dan 3H 3W masing-masing adalah 449,196 N/m², dan 517,552 N/m². Tekanan keluar pada variasi 2H 2W adalah 58,591 N/m², sama dengan tekanan keluar pada variasi 1H 1W yaitu 58,591 N/m². Sementara untuk tekanan pada variasi 3H 3W lebih rendah yaitu 19,53 N/m².



Gambar 10 Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap head losses dengan variasi simpul pipa expansion loop 1H 1W, 2H 2W, 3H 3W

Pada Gambar 10 memperlihatkan kecepatan fluida dan nilai head losses pada variasi 2H 2W memiliki nilai yang paling rendah yaitu pada kecepatan 7,18 m/s memiliki nilai head losses 1,792 m, dan pada kecepatan 16,054 m/s memiliki nilai head losses 8,962 m. Sedangkan untuk variasi 1H 1W dan 3H 3W memiliki kecepatan fluida dan head losses yang lebih tinggi. Pada variasi 1H 1W memiliki kecepatan fluida terendah 9,269 m/s dan nilai head losses 2,987 m, kecepatan fluida tertinggi 16,32 m/s dan nilai head losses 9,261 m. pada variasi 3H 3W memiliki kecepatan fluida terendah 9,269 m/s dan nilai head losses 2,987 m, kecepatan fluida tertinggi 16,581 m/s dan nilai head losses 9,559m.

Dari pembahasan variasi simpul pipa expansion loop dapat diambil variasi yang memiliki aliran fluida lebih stabil, tekanan keluar yang cukup tinggi, dan head losses minor paling kecil adalah pada variasi 1H 3W, 2H 1W, dan 2H 2W. Berikut adalah grafik hasil pengujian variasi simpul pipa expansion loop setiap variasi.



Gambar 11 Perbandingan pengaruh kecepatan fluida terhadap head losses dengan variasi simpul pipa expansion loop

Pada Gambar 11 memperlihatkan head losses minor yang terjadi pada variasi simpul pipa expansion loop. Dari Gambar grafik dapat dilihat bahwa bentuk variasi simpul pipa expansion loop mempengaruhi kecepatan dan head

losses yang terjadi. Pada kecepatan fluida rendah maka nilai head losses akan rendah dan sebaliknya apabila kecepatan fluida tinggi maka nilai head losses akan tinggi pula. Dapat dilihat pada Gambar diagram batang bahwa pada variasi kecepatan fluida pertama, pada kecepatan keluar fluida berkisar 9 m/s head losses minor tertinggi terdapat pada variasi simpul pipa 1H 2W dengan nilai head losses 3,585 m sedangkan nilai head losses terendah terdapat pada variasi simpul pipa 2H 2W dengan nilai head losses 1,792 m. sementara untuk variasi kecepatan fluida ketiga yaitu pada kecepatan keluar berkisar 16 m/s atau kecepatan maksimum blower nilai head losses minor tertinggi terdapat pada variasi simpul pipa 3H 3W dengan nilai head losses 9,559 m, dan untuk nilai head losses terendah terdapat pada variasi simpul pipa 2H 1W dengan nilai head losses 8,066 m.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dari penelitian penurunan head losses pada simpul pipa expansion loop vertikal dengan variasi tinggi dan lebar simpul yaitu 1)Pengaruh dari variasi simpul pipa expansion loop vertikal variasi tinggi dan lebar simpul mempengaruhi kecepatan, tekanan, dan head losses minor. Kecepatan fluida pada setiap titik pengukuran mengalami fluktuasi yang bervariasi dan cenderung mengalami penurunan kecepatan bergantung pada variasi simpul pipa expansion loop yang digunakan. Tekanan yang dihasilkan variasi simpul pipa expansion loop cenderung mengalami penurunan. Dan head losses minor dari simpul pipa expansion loop mengalami peningkatan bergantung pada variasi simpul pipa expansion loop dan variasi kecepatan. 2) Nilai penurunan head losses paling tinggi terjadi pada variasi simpul pipa expansion loop 3H 3W pada kecepatan fluida 9,269 m/s memiliki nilai head losses 2,987 m dan pada kecepatan fluida 16,581 m/s memiliki nilai head losses 9,559 m serta tekanan keluar 19,53 N/m². nilai penurunan head losses paling rendah terjadi pada simpul pipa expansion loop 2H 2W dengan nilai head losses 1,792 m pada kecepatan 7,18 m/s dan nilai head losses 8,962 m pada kecepatan 16,054 m/s serta tekanan keluar 58,591 N/m². 3) Pada pembahasan variasi simpul pipa expansion loop ini jika dilihat dari variasi kecepatan kemampuan maksimal blower maka yang memiliki nilai head losses minor paling rendah adalah pada variasi simpul pipa expansion loop 2H 1W dengan nilai head losses 8,066 m pada kecepatan 15,23 m/s dan tekanan keluar 63,473 N/m². 4) Nilai head losses minor variasi simpul pipa expansion loop tersebut tidak hanya terpengaruh oleh koefisien kerugian belokan tetapi juga kecepatan fluida. Karena pada variasi simpul pipa expansion loop jumlah belokan tetap yaitu 4 belokan/elbow 90⁰ dengan radius lengkung 1,5Æ pipa, maka yang mempengaruhi nilai head losses minor selain karena variasi simpul pipa expansion loop vertikal adalah karena kecepatan fluida variasi simpul pipa tersebut.

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis dari hasil penelitian ini antara lain 1)Untuk dapat menghasilkan data penelitian yang lebih detail dan akurat, maka harus menggunakan alat ukur yang lebih presisi dari manometer U. karena pada manometer U nilai terkecil yang dapat dibaca adalah 1 mm. 2)Agar aliran dalam pipa dapat

terGambarkan dengan lebih baik, ada baiknya memperbanyak jumlah titik pengukuran dan menempatkan posisi alat ukur tidak hanya pada tengah penampang pipa serta dapat menambahkannya pada 2 sumbu koordinat penampang pipa. 3) Untuk dapat memvisualisasikan pola aliran dalam pipa, bisa menggunakan pipa transparan dengan ditambahkan asap pada aliran dalam pipa tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Darmawan, Bagus Satriya. 2013. *Analisa Kerugian Head Akibat Kontraksi Berangsur pada Pipa PVC Reducer dengan Penambahan Variasi Diameter dan Bukaannya Katup*. Skripsi Teknik Mesin – Unej: 1-99
- [2] Zainudin, dkk. 2012. *Analisis Pengaruh Variasi Sudut Sambungan Belokan Terhadap Head Losses Aliran Pipa*. Jurnal ISSN: 2088-088x, Vol 2 No. 2: 14-22.
- [3] Berliner, Y.I., dan S.V. Barasova. 1974. *Expansion Loop Pieces*. Plenum Journal No. 7, p. 32 .
- [4] Wibowo, Priyo Ari. 2013. *Analisis Penurunan Head Losses pada Belokan Pipa 180⁰ Dengan Variasi Non Tube Bundle, Tube Bundle 0,25 Inchi, dan Tube Bundle 0,5 Inchi*. Skripsi Teknik Mesin – Unej: 1-105 .

