JURNAL

Analisa *Head Losses* Akibat Perubahan Diameter Penampang, Variasi Material Pipa Dan Debit Aliran Fluida Pada Sambungan *Elbow* 90^0

Analysis Of Head Losses Consequent Section Diameter, Pipe Material And Fluid Flow Debit At 90^0 Elbow Joint

Oleh:

SAUT KASDIARDI SILALAHI

13.1.03.01.0012

Dibimbing oleh :

1. **IRWAN SETYOWIDODO, M.Si.**
2. **AM. MUFARRIH, M.T.**

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NUSANTARA PGRI KEDIRI

TAHUN 2017

SURAT PERNYATAAN
ARTIKEL SKRIPSI TAHUN 2017

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap	: Saut Kasdiardi Silalahi
NPM	: 13.1.03.01.0012
Telepon/HP	: 085331577717
Alamat Surel (Email)	: sautkasdiardisilalahi17@gmail.com
Judul Artikel	: Analisa Head Losses Akibat Perubahan Diameter penampang, Variasi Material Pipa dan Debit Aliran Fluida pada Sambungan *Elbow* 90^0
Fakultas – Program Studi	: Teknik Mesin
Nama Perguruan Tinggi	: Universitas Nusantara PGRI Kediri
Alamat Perguruan Tinggi	: Jl. K.H Achmad Dahlan No. 76 Kota Kediri

Dengan ini menyatakan bahwa :

a. artikel yang saya tulis merupakan karya saya pribadi (bersama tim penulis) dan bebas plagiarisme;
b. artikel telah diteliti dan disetujui untuk diterbitkan oleh Dosen Pembimbing I dan II.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian data dengan pernyataan ini dan atau ada tuntutan dari pihak lain, saya bersedia bertanggungjawab dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Mengetahui		Kediri, 07 Agustus 2017
Pembimbing I	Pembimbing II	Penulis,
Irwan Setyowidodo, M.Si	**Am. Mufarrih, M.T.**	**Saut Kasdiardi Silalahi**
NIDN. 0701098404	NIDN. 0730048904	NPM. 13103010012

ANALISA *HEAD LOSSES* AKIBAT PERUBAHAN DIAMETER PENAMPANG, VARIASI MATERIAL PIPA DAN DEBIT ALIRAN FLUIDA PADA SAMBUNGAN *ELBOW* 90^0

SAUT KASDIARDI SILALAHI
13.1.03.01.0012
Fakultas Teknik – Prodi Teknik Mesin
Email: sautkasdiardisilalahi17@gmail.com
Irwan Setyowidodo, M.Si[1] dan Am. Mufarrih, M.T[2]

UNIVERSITAS NUSANTARA PGRI KEDIRI

Abstrak

Sistem perpipaan merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam kalangan penduduk padat. Aliran air yang keluar di rumah masyarakat terkadang tidak stabil saat dipergunakan. Hal ini disebabkan faktor perubahan penampang, material pipa, dan debit aliran fluida saat melewati belokan *(elbow)* pipa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan diameter penampang, variasi material, debit aliran fluida terhadap *head losses* serta mengetahui koefisien kerugian akibat bilangan reynold. Desain penelitian ini menggunakan faktorial *orthogonal array* L_{12} kemudian analisa data yang digunakan *Analysis Of Variance* (ANOVA*)* dengan bantuan *software minitab 16* serta tahap uji lanjut kontras (metode scheffe). Hasil penelitian menunjukkan nilai *head losses* tertinggi pada diameter pipa 1 inch menuju ¾ inch, material pipa PVC (*Poly Vinyl Chloride*) dan debit aliran fluida 20 liter/menit sebesar 42.33 mm. Nilai *head losses* terendah pada diameter pipa ¾ inch menuju 1 inch, material pipa PE (*Polyethylene*) dengan debit aliran fluida 10 liter/menit sebesar 5.33 mm. Koefisien kerugian terbesar pada diamater ¾ inch menuju 1 inch, material pipa PVC dan debit aliran fluida 10 liter/menit sebesar 1.4602 sedangkan untuk *reynold number* sebesar 12325.3. sehingga dari hasil ANOVA dan uji lanjut kontras (metode scheffe) dapat disimpulkan diameter penampang, material pipa dan debit aliran fluida berpengaruh signifikan terhadap *head losses*.

Kata kunci : *head losses*, diameter *elbow* 90^0, material pipa, debit aliran

A. PENDAHULUAN

Secara umum setiap hari kita semua selalu berhubungan dengan fluida hampir dimanapun dan kapanpun kita berada, fluida selalu mempengaruhi berbagai kegiatan kita dalam kehidupan sehari-hari baik dalam bentuk *liquid* ataupun gas. Namun pada dasarnya fluida yang digunakan sering mengalami kerugian atau tidak stabil saat mengalir melalui sistem perpipaan.

Dalam penelitian ini memiliki tujuan masalah antara lain: (1) untuk mengetahui pangaruh perubahan diameter penampang, (2) variasi material pipa, (3) debit aliran fluida terhadap *head losses* serta (4) mengetahui koefisien kerugian pada sambungan *elbow* 90^0 akibat bilangan *reynold*.

Menurut Raswari (1987:2), fluida merupakan suatu zat/bahan yang dalam keadaan setimbang tidak dapat menahan gaya atau tegangan geser (*shear force*). Adapun sifat – sifat dasar fluida yaitu kerapatan (*density*), berat jenis (*specific gravity*), tekanan (*pressure*), dan kekentalan (*viscosity*) (Orianto, 1989:3).

Untuk persamaan – persamaan dasar aliran fluida ada 3 persamaan antara lain persamaan kontinuitas yang diperoleh dari hukum kekekalan massa.

Sehingga persamaan kontinuitas dapat kita ketahui dengan rumus (White, 1988:38):

$$Q = A_1.v_1 = A_2.v_2 \quad (1)$$

Dimana:

A = luas penampang (m^2)

v = kecepatan aliran penampang (m/s)

Q = debit aliran (m^3/s)

Menurut Streeter (1987:29), persamaan bernoulli merupakan akibat dari gerakan fluida sehingga menimbulkan atau menghasilkan energi, terutama energi mekanik yaitu sebagai akibat dari kecepatan fluida. Bentuk persamaan energi yang dapat diketahui dengan persamaan:

$$E = \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + z \quad (2)$$

Dimana:

P = tekanan pada cairan (N/m^2)

ρ = massa jenis (kg/s^2)

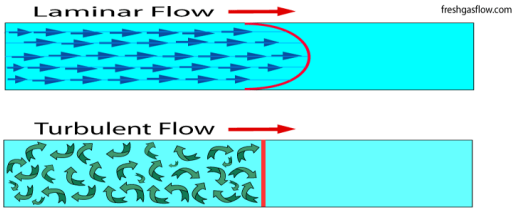
g = gravitasi bumi (9.81 m/s^2)

z = elevasi (m)

Sedangkan untuk persamaan momentum adalah sesuatu benda yang sebanding dengan gaya yang bekerja pada benda tersebut.

Fluida yang bergerak dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa katagori aliran laminar dan aliran turbulen. Perbedaan antara aliran laminar dan turbulen secara eksperimen pertama sekali

dipaparkan oleh Osborne Reynolds pada tahun 1883.



Gambar 1. Aliran laminar (atas) dan aliran turbulen (bawah)

Teori Reynolds merumuskan bahwa untuk aliran internal (*internal flow*) atau aliran yang mengalir dalam pipa, jenis aliran yang terjadi dapat diketahui dengan mendapatkan bilangan Reynoldsnya dari persamaan (White, 1986:33):

$$Re = \frac{\rho.v.D}{\mu} = \frac{v.D}{v} \quad (3)$$

Dimana:

Re = Bilangan Reynold (tak berdimensi)

D = diameter pipa (ft atau m)

$v = \frac{\mu}{\rho}$ viskositas kinematik (m^2/s)

Sehingga jenis aliran berdasarkan bilangan Reynolds untuk aliran internal. Re < 2300, aliran adalah laminar, Re > 4000, aliran adalah turbulen dan 2300 < Re < 4000, aliran adalah transisi.

Untuk mencari koefisien kerugian atau nilai "k" dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$k_{kb-act} = \frac{\Delta h \times 2g}{v^2} \quad (4)$$

Dimana:

k_{kb-act} = koefisien kerugian actual

Δh = kerugian head aktual (m)

Metode Scheffe merupakan salah satu metode uji kontras yang digunakan untuk membandingkan semua data yang kemungkinan bersifat kontras atau menonjol di antara rata-rata perlakuan (Montgomery, 2001: 95).

Himpunan kontras menggunakan standar kesalahan (*standard error*) sebagai berikut :

$$Sc_u = \sqrt{MS_E \sum_{i=1}^{a} (c_{1u}^2 / n_i)} \quad (5)$$

Sedangkan nilai kritis yang akan dibandingkan dengan C_u dapat ditentukan melalui formulasi berikut:

$$S_{\alpha.u} = Sc_u \sqrt{(a-1)F_{\alpha\, a-1\, N-a}} \quad (6)$$

Bila nilai $|C_u| > S_{\alpha.u}$ maka rata – rata himpunan data tersebut berbeda secara signifikan atau yang bisa disebut sebagai kontras.

B. METODE PENELITIAN

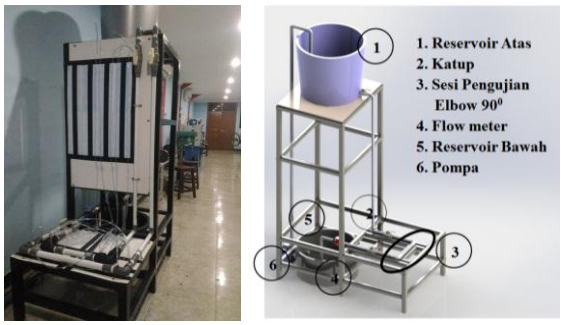
Desain penelitian ini menggunakan rancangan percobaan faktorial *orthogonal array* L_{12} dengan penyimbolan m x n x o sehingga dalam percobaan ini terdapat 12 perlakuan. Maka dapat dibuat tabel seperti berikut.

Tabel 1. Variabel dan Level Penelitian

Variabel Bebas	Level	Nilai Variabel		
Diameter Penampang	2	1 inch	¾ Inch	-
Material Pipa	2	Pipa PVC	Pipa PE	-
Debit Aliran	3	10 l/menit	15 l/menit	20 l/menit

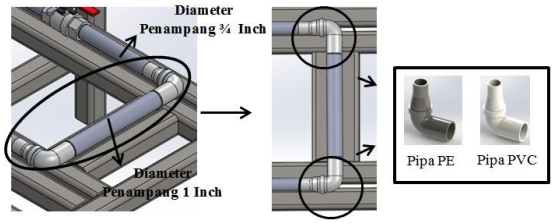
Sehingga untuk tabel hasil percobaan menggunakan 3 replikasi.

Untuk rancangan alat penelitian *Head Losses* pada sambungan *elbow* 90^0 sebagai berikut:



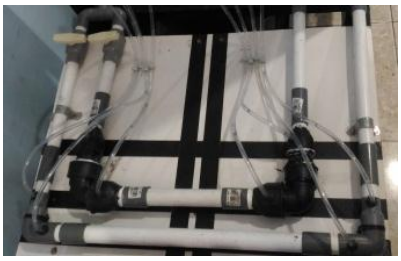
Gambar 2. Rancangan alat penelitian

Pada gambar 2. Lingkaran hitam nomor 3 merupakan sesi uji perubahan penampang pipa *elbow* 90^0 dengan diameter 1 inch menuju ¾ inch dan ¾ inch menuju 1 inch serta penggantian material pipa sesuai prosedur penelitian.



Gambar 3. Sesi Pengujian *Elbow* 90^0

Di bawah ini adalah gambar 4. yang merupakan skema pipa uji yang akan diletakkan pada instalasi.



Gambar 4. Pengujian Pipa *Elbow* 90^0

Kemudian dipasang alat ukur manometer yang nantinya diamati dan diambil data secara berkala.

Beberapa bahan seperti sambungan *Elbow* 90^0 dari masing-masing material pipa beserta pipa *reduce* untuk perubahan penampang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

(a) (b)

Gambar 5. Sambungan *Elbow* 90^0 (a) Pipa PVC dan (b) Pipa PE

Tahap pelaksanaan penelitian diawali dengan *study* literatur untuk mendapatkan informasi, data, dan teori yang berkaitan dengan obyek penelitian. Kemudian dilanjutkan prosedur penelitian (1) persiapan alat penelitian, (2) tahap Penelitian, (3) kemudian tahap pengambilan data *head losses* pada alat ukur manometer.

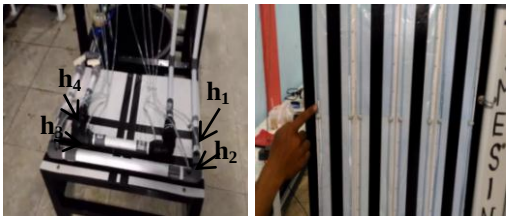
Metode statistik yang digunakan *Analysis Of Variance* (ANOVA) dengan persyaratan terlebih dahulu dilakukan uji asumsi IIND (Identik, Independen, dan Distribusi Normal). ANOVA menggunakan taraf signifikan 0,05 atau 5% artinya hipotesis yang diterima sebesar 95%. *Software* yang digunakan adalah *Minitab 16*, kemudian diuji kembali dengan uji lanjut kontras metode Scheffe untuk mengetahui kontras tidaknya setiap data yang diujikan.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil eksperimen dapat diketahui dengan beberapa uji sehingga sebelum masuk hasil uji perlu diketahui dulu deskripsi hasil data pada setiap variabel.

1. Deskripsi Hasil Data Variabel

Nilai *head losses* yang telah diukur pada manometer dari berbagai variasi.



Gambar 6. Pengambilan Data

Tabel dibawah ini merupakan hasil pengambilan data dari alat ukur manometer untuk pengujian *Head Losses* dengan 3 replikasi.

Tabel 2. Pengambilan data hasil pengujian *Head Losses*

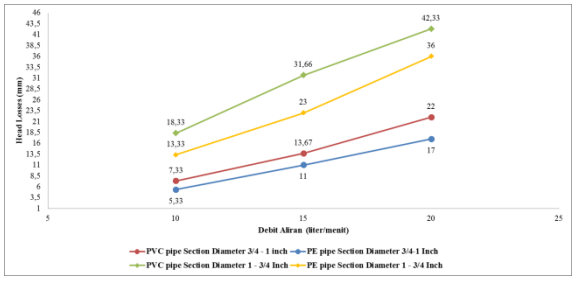
No	Material Pipa	Debit Aliran	Replikasi	Pengambilan Data (mm)			
				Diameter ¾ inch menuju 1 inch		Diameter 1 inch menuju ¾ inch	
				h_1	h_2	h_3	h_4
1	Pipa PVC	10 l/mnt	1	295	304	299	279
			2	291	298	293	275
			3	288	294	289	272
2		15 l/mnt	1	224	239	231	198
			2	220	234	226	194
			3	217	229	220	190
3		20 l/mnt	1	82	106	104	60
			2	78	100	98	56
			3	75	95	95	54
4	Pipa PE	10 l/mnt	1	81	88	86	71
			2	78	83	82	69
			3	76	80	76	64
5		15 l/mnt	1	44	57	53	28
			2	42	53	48	25
			3	41	50	44	23
6		20 l/mnt	1	21	40	29	-12
			2	18	35	26	-10
			3	15	30	23	-9

Untuk tabel hasil rata-rata data penelitian *head losses* dapat kita lihat tabel dibawah ini.

Tabel 3. Data rata-rata Penelitian *Head Losses*

No.	Diameter Penampang	Material Pipa	Debit Aliran	*Head Losses* (h_L)
1.	Diameter Penampang ¾ menuju 1 inch	Pipa PVC (*PolyVinyl Chloride*)	10 l/menit	7.33 mm
2.			15 l/menit	13.67 mm
3.			20 l/menit	22 mm
4.		Pipa PE (*Poliethilene*)	10 l/menit	5.33 mm
5.			15 l/menit	11 mm
6.			20 l/menit	17 mm
7.	Diameter Penampang 1 menuju ¾ inch	Pipa PVC (*PolyVinyl Chloride*)	10 l/menit	18.33 mm
8.			15 l/menit	31.66 mm
9.			20 l/menit	42.33 mm
10.		Pipa PE (*Polyethylene*)	10 l/menit	13.33 mm
11.			15 l/menit	23 mm
12.			20 l/menit	36 mm

Pada tabel 3. menunjukkan bahwa rata-rata *head losses* yang dihasilkan diameter penampang 1 inch menuju ¾ inch lebih tinggi serta semakin naiknya debit aliran *head losses* yang dihasilkan juga semakin tinggi, sedangkan untuk material pipa PVC lebih tinggi dari pada Pipa PE.



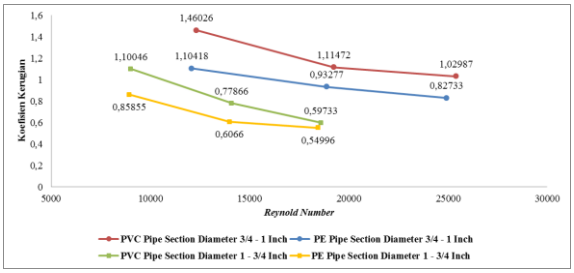
Gambar 7. Grafik Rata - Rata *Head Losses*

Sedangkan untuk hubungan nilai koefisien kerugian dan bilangan reynold dapat kita ketahui sesuai tabel 4.

Tabel 4. Data Rata-Rata Hubungan Nilai Koefisien Kerugian Dan Bilangan Reynold.

No.	Diameter Penampang	Material Pipa	Debit Aliran	Bilangan Reynold	Koefisien Kerugian
1.	Diameter Penampang ¾ menuju 1 inch	Pipa PVC	10 l/menit	12325.3	1.46026
2.			15 l/menit	19258.4	1.11472
3.			20 l/menit	25412	1.02987
4.		Pipa PE	10 l/menit	12087.6	1.10418
5.			15 l/menit	18887.1	0.93277
6.			20 l/menit	24930.8	0.82733
7.	Diameter Penampang 1 menuju ¾ inch	Pipa PVC	10 l/menit	9022.5	1.10046
8.			15 l/menit	14097.7	0.77866
9.			20 l/menit	18608.8	0.59733
10.		Pipa PE	10 l/menit	8953.4	0.85855
11.			15 l/menit	13989.8	0.6066
12.			20 l/menit	18466.6	0.54996

Untuk mempermudah mengetahui hubungannya lihat gambar grafik hubungan nilai koefisien kerugian dan bilangan reynold di bawah ini.



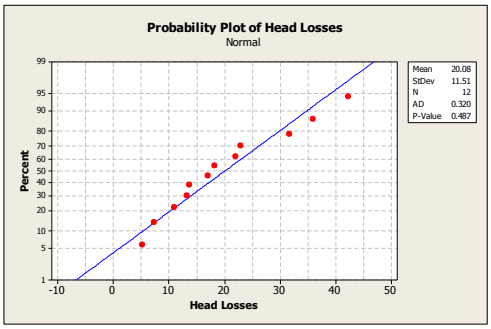
Gambar 8. Grafik Rata-Rata Hubungan Nilai Koefisien Kerugian

Dari gambar 8. dapat kita lihat bahwa diamater penampang ¾ menuju 1 inch memiliki koefisien kerugian yang lebih besar, tampak pipa PE memiliki koefisien kerugian yang lebih kecil dari pipa PVC serta perubahan debit aliran fluida menyebabkan meningkatnya kecepatan aliran dan bilangan reynold. Dilihat dari tabel 5. dapat dipastikan hasil bilangan reynold melebihi 4000 sehingga dapat diartikan semua aliran turbulen.

2. Analisa Data

Prosedur analisa data, perlu terlebih dahulu diuji dengan asumsi IIDN (Identik, Independen, dan Distribusi Normal).

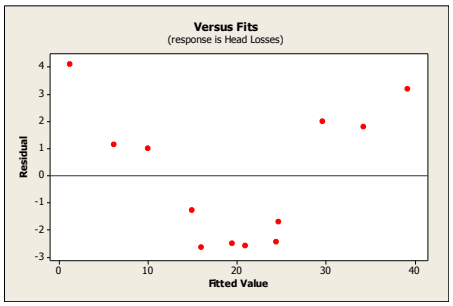
Pertama Uji kenormalan residual dilakukan dengan menggunakan Uji Anderson-Darling yang terdapat pada program *minitab 16.*



Gambar 9. Plot uji distribusi normal pada respon *head losses*

H_0 ditolak jika *p-value* lebih kecil dari pada α = 0.05. Gambar 9. menunjukan bahwa dengan uji Anderson-Darling diperoleh *P-Value* sebesar 0.487 yang berarti lebih besar dari α = 0.05. oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa H_0 merupakan residual berdistribusi normal.

Kemudian uji identik untuk mengetahui apakah data penelitian yang dihasilkan identik atau tidak

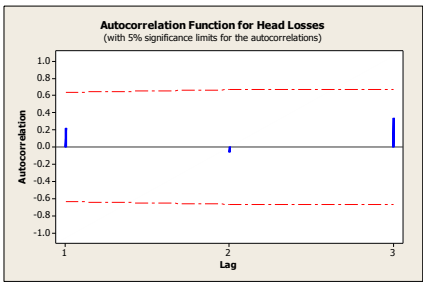


Gambar 10. Plot residual *head losses versus fitted values*

Gambar 10. menunjukkan bahwa residual terbesar secara acak disekitar harga *minus* dua dan tidak membentuk pola

tertentu. Dengan demikian asumsi residual identik terpenuhi.

Yang terakhir pengujian independen, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *auto coreelation function* (ACF).



Gambar 11. Plot ACF pada respon *head losses*

Berdasarkan plot ACF yang ditunjukan pada gambar 11. Tidak ada nilai AFC pada tiap *lag* yang keluar dari batas interval. Hal ini membuktikan bahwa tidak ada kolerasi antar residual artinya bersifat independen.

3. Hasil Analisa Data

Analisa data menggunakan *analysis of varians* (ANOVA).

Tabel 5. Analisa Varians Variabel Proses Terhadap *Head Losses*

Analysis of Variance for Head Losses, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Diameter	1	650.04	650.04	650.04	68.36	0.000
Material Pipa	1	73.31	73.31	73.31	7.71	0.027
Debit Aliran	2	666.68	666.68	333.34	35.05	0.000
Error	7	66.56	66.56	9.51		
Total	11	1456.59				

S = 3.08369 R-Sq = 95.43% R-Sq(adj) = 92.82%

Sedangkan nilai persentase kontribusi pengaruh dari setiap faktor penelitian (variabel bebas) terhadap *head losses* adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Persentase Kontribusi Untuk Setiap Faktor Penelitian

Variabel Bebas	DF	Seq SS	Adj MS	SS'	% Kontribusi
Diameter Penampang	1	650.04	650.04	640.53	44.63
Material Pipa	1	73.31	73.31	63.8	5.03
Debit Aliran	2	666.68	35.05	647.66	45.77
Error	7	66.56	9.51		4.57
Total	11	1456.59			100.00

4. Pengujian Hipotesis

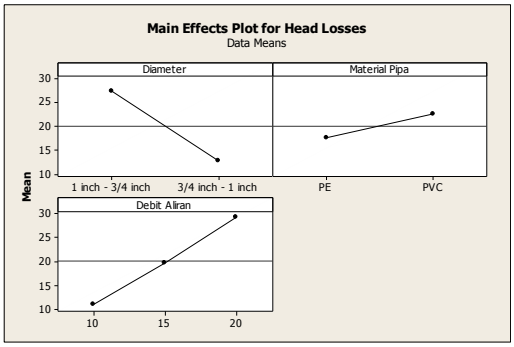
Dalam pengujian hipotesis untuk menarik kesimpulan sesuai analisa data dapat menggunakan cara membandingkan nilai F_{hitung} yang dihasilkan dari analisis varian dan F_{tabel} dari tabel distribusi F, α (signifikan) 0.05.

Untuk variabel bebas Diameter Penampang. Kesimpulan: F_{hitung} = 68.36 > $F_{(0.05;2,33)}$ = 3.28, maka H_0 ditolak, artinya ada pengaruh diameter penampang terhadap *head losses*.

Untuk variabel bebas Material Pipa Kesimpulan: F_{hitung} = 7.71 > $F_{(0.05;2,33)}$ = 3.28, maka H_0 ditolak, artinya ada pengaruh material pipa terhadap *head losses*.

Untuk variabel bebas Debit Aliran Fluida. Kesimpulan: F_{hitung} = 35.05 > $F_{(0.05;2,33)}$ = 3.28, maka H_0 ditolak, artinya ada pengaruh debit aliran fluida terhadap *head losses*.

Pengaruh yang diberikan dari tiga variabel ini mampu terlihat dengan jelas melalui gambar *main effect plot* untuk *head losses* yang didapat dari uji ANOVA pada *Software Minitab 16* sebagai berikut.



Gambar 12. Plot efek yang diberikan variabel bebas terhadap *Head Losses*

5. Pengujian Lanjut Kontras (Metode Scheffe)

Pengujian lanjut dengan metode Scheffe ini digunakan oleh peneliti untuk membandingkan data hasil penelitian.

Tabel 7. Hasil Pengujian Lanjut Kontras

Γ	$\lvert C \rvert$		$S_{0,05}$	Hasil Uji
μ_1-μ_4	2.00	<	2.02	Tidak Kontras
μ_2-μ_5	2.67	>	2.02	Kontras
μ_3-μ_6	5.00	>	2.02	Kontras
μ_7-μ_{10}	5.00	>	2.02	Kontras
μ_8-μ_{11}	8.66	>	2.02	Kontras
μ_9-μ_{12}	6.33	>	2.02	Kontras

Hasil uji kontras pada tabel 8 untuk rata – rata *head losses* perbandingan diameter 1 inch menuju ¾ inch (μ_7, μ_8, μ_9, μ_{10}, μ_{11}, μ_{12}) memiliki hasil uji kontras yang

lebih tinggi. Kemudian diuji kontras kembali dapat dilihat tabel dibawah ini.

Tabel 8. Hasil Pengujian Lanjut Kontras

Γ	$\lvert C \rvert$		$S_{0,05}$	Hasil Uji
μ_1-μ_7	11	>	2.02	Kontras
μ_2-μ_8	17.66	>	2.02	Kontras
μ_3-μ_9	20.33	>	2.02	Kontras
μ_4-μ_{10}	8	>	2.02	Kontras
μ_5-μ_{11}	12	>	2.02	Kontras
μ_6-μ_{12}	19	>	2.02	Kontras

Berdasarkan hasil pengujian kontras pada tabel 8. menerangkan bahwa nilai *head losses* pada data μ_3 dan μ_9 dengan diameter penampang 1 inch menuju ¾ inch variasi material pipa PVC memiliki uji yang lebih kontras dengan debit aliran tertinggi 20 liter/menit.

6. Pembahasan

Beberapa kombinasi yang mampu menghasilkan *head losses* yang optimal.

Dimana pengaruh diameter penampang 1 inch menuju ¾ inch mampu menghasilkan *head losses* tertinggi. Sesuai teori Bernoulli "*Handbook Fluid Mechanics*" ketika zat cair mengalir melewati penampang besar menuju penampang kecil, tekanan zat cair pada penampang besar lebih besar dari tekanan zat cair pada penampang kecil (White, 1988:183).

Pipa PVC memiliki *head losses* yang tinggi dibandingkan pipa PE. Karena kontruksi pipa PE lebih baik atau lebih halus dari pada pipa PVC. Hal ini diperkuat penelitian Hendarwati Pamungkas (2011:6) "*Analisi Pengaliran Dalam Pipa*" yang menjelaskan kekasaran permukaan pipa dapat mempengaruhi laju aliran.

Semakin besar debit aliran *head losses* juga semakin meningkat. *Head losses* tertinggi berada pada debit aliran fluida 20 liter/menit. Sehingga sesuai penelitian Sugi dan Irawan (2010:47) bahwa semakin besar laju aliran maka debit aliran juga semakin meningkat.

Koefisien kerugian terbesar pada diameter penampang ¾ inch menuju 1 inch dan debit aliran 10 liter/menit untuk pipa PVC sebesar 1.46026 serta pipa PE sebesar 1.10418.

D. PENUTUP

1. Simpulan

Penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

a. Diameter penampang pipa berpengaruh terhadap *head losses* dengan hasil dari analisa varians untuk nilai F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} atau nilai *P-value* tidak lebih besar dari nilai signifikan (0.05 = 5%), untuk presentasi kontribusi diperoleh sebesar 44.63%.
b. Material pipa memiliki pengaruh terhadap hasil *head losses* dengan presentasi kontribusi hanya memperoleh

sebesar 5.03%. nilai *head losses* tertinggi ada pada material pipa PVC

c. Debit aliran fluida juga mempengaruhi hasil *head losses* hasil analisa varian nilai F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} atau nilai *P-value* tidak lebih besar dari nilai signifikan (0.05 = 5%), untuk presentasi kontribusi hanya memperoleh sebesar 45.77%. Nilai *head losses* tertinggi ada pada debit aliran 20 liter/menit.

d. Koefisien kerugian terbesar pada diameter penampang ¾ inch menuju 1 inch dan debit aliran 10 liter/menit untuk pipa PVC sebesar 1.46026 serta pipa PE sebesar 1.10418.

2. Saran

Cara mengurangi *head losses* pilihlah perubahan diameter penampang yang terkecil menuju diameter terbesar dengan material pipa yang kontruksinya baik. Untuk debit aliran fluida yang mengalir, aturlah hingga paling rendah sesuai kebutuhan.

E. DAFTAR PUSTAKA

Montgomery, Douglas C. 2001. *Design And Analysis of Experiments* (Fifth Edition). New York: Jhon Wiley & Sons, INC.

Orianto, M dan W.A Pratikto. 1989. *Mekanika Fluida I*. (Edisi Pertama). Yogyakarta: BPFE.

Pamungkas, Hendarwati. 2011. *Analisis Pengaliran Air Dalam Pipa Dengan Berbagai Perubahan Penampang Pada Suatu Jaringan Pipa.* (Skripsi). Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Rahmat, Sugi dan Adhe Irawan. 2010. *Analisa Kerugian Head Perluasan dan Penyempitan Penampang Pada Sambungan 90^0*. Skripsi. Makassar: Universitas Hasanuddin.

Raswari. 1987. *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan*. Jakarta: Universitas Indonesia.

Streeter, Victor L dan Prijono Arko. 1987. *Mekanika Fluida (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.

White, Frank M dan Manahan Hariandja. 1986. *Mekanika Fluida* (Edisi Pertama). Terjemahan. Jakarta: Erlangga.

White, Frank M. 1988. *Handook Fluid Mechanics* (Fifth Edition). Boston: McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering.