

Laporan Penelitian

Kehilangan Energi Pada Pipa Baja Dan Pipa Pvc

Oleh

Ir. Salomo Simanjuntak, MT
Dosen Tetap Fakultas Teknik



**LEMBAGA PENELITIAN
UNIVERSITAS HKBP NOMMENSEN
MEDAN
2010**

KATA PENGANTAR

Pertama sekali dipanjatkan puji dan syukur kehadiran Tuhan Yesus Kristus atas segala kasih dan anugerahNya sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini.

Penelitian ini dibuat untuk memenuhi salah satu Tri Dharma Perguruan Tinggi. Peneliti menyadari bahwa dengan segala keterbatasannya laporan penelitian ini masih kurang dari sempurna. Dengan segala kerendahan hati penulis menerima kritik dan saran untuk menyempurnakan laporan penelitian ini.

Penulis juga menyadari bahwa penelitian ini tanpa bantuan dari berbagai pihak, penelitian dan laporan penelitian ini tidak akan selesai sesuai dengan batas waktu yang telah ditentukan. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Prof.Dr.Ir. Hasan Sitorus sebagai Ketua Lembaga Penelitian UHN.
2. Bapak Ir. Humisar Sibarani, MS.Met sebagai Dekan FT UHN.
4. Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidrolika sebagai tempat pelaksanaan penelitian.
5. Serta pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga laporan penelitian ini bermanfaat bagi yang membacanya.

Medan, Februari 2010

Peneliti

ABSTRAK

Kehilangan energi merupakan faktor yang mempengaruhi kapasitas pipa sebagai sarana penghantar aliran baik air maupun minyak. Kehilangan energi menyebabkan terjadinya pengurangan debit aliran. Kehilangan energi disebabkan beberapa faktor diantaranya kekasaran dinding pipa.

Kekasaran dinding pipa berkaitan dengan material pipa yang biasanya terdiri dari PVC, baja/besi, kaca, kayu dan lain sebagainya. Pemilihan material ini dipengaruhi oleh kondisi lapangan dalam arti, jika pemakaian pipa pada daerah/permukaan tanah akan menggunakan pipa dari baja/besi, sedangkan jika pipa didalam tanah digunakan PVC hal ini berkaitan dengan faktor keamanannya. Oleh karena itu perlu diketahui seberapa besar kehilangan energi yang terjadi pada berbagai material pipa dimaksud.

Untuk mengetahui kehilangan energi yang terjadi, dilakukan pengujian dilaboratorium, pada penelitian ini pengujian dilakukan dilaboratorium Universitas HKBP nommensen dengan komposisi diameter yang berbeda dan material pipa yaitu baja dan PVC.

Dari hasil pengujian dilaboratorium diperoleh bahwa kehilangan energi akan berbeda apabila diameter yang digunakan berbeda, dengan perkataan lain kehilangan energi dipengaruhi oleh diameter dan material pipa.

DAFTAR ISI

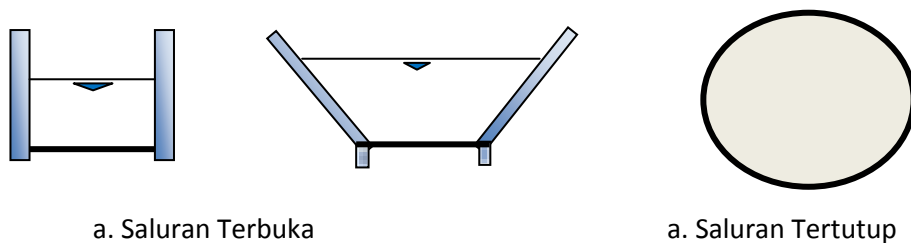
KATA PENGANTAR	.....	i
ABSTRAK	.....	ii
DAFTAR ISI	.....	ii
BAB I PENDAHULUAN	.....	1
1.1. Latar Belakang	.....	1
1.2. Perumusan Masalah	.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	.....	2
1.4. Kontribusi Manfaat Penelitian	.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	.....	3
2.1. Pengertian Pipa	.....	3
2.2. Kehilangan energi pada sistem perpipaan	.....	3
2.2.1. Kehilangan energi primer (<i>Mayor Losses</i>)	.....	3
2.2.2. Kehilangan energi sekunder (<i>Minor Losses</i>)	.....	5
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	.....	8
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	9
4.1. Hasil penelitian	.....	9
4.1.1. Pipa Baja	.....	9
4.1.2. Pipa PVC	.....	9
4.2. Kecepatan aliran	.....	10
4.3. Kehilangan Energi	.....	11
4.4. Pembahasan	.....	12
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	.....	14
5.1. Kesimpulan	.....	14
5.2. Saran	.....	14
DAFTAR PUSTAKA	.....	15

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

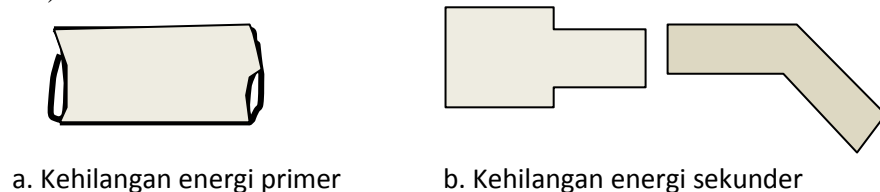
Secara umum saluran dibagi 2 (dua), saluran terbuka dan saluran tertutup (Gambar1.). Saluran tertutup/pipa merupakan saluran yang digunakan untuk mengalirkan air dari satu tempat ke tempat lainnya (misalnya jaringan pipa air minum). Hal ini dilakukan agar terhindar dari kemungkinan tercemar (jika menggunakan saluran terbuka kemungkinan tercemar lebih besar).



Gambar 1. Bentuk Saluran

Aliran pada saluran tertutup adalah aliran bertekanan (aliran terjadi karena perbedaan tekanan/energi pada titik awal dan titik akhir), kehilangan tekanan/energi (kerugian) dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya : ukuran pipa, kekasaran permukaan pipa (jenis pipa), kecepatan aliran, nilai kekentalan, dan percepatan gravitasi. Koefisien kekasaran permukaan pipa dan jenis pipa merupakan faktor yang dominan/utama penyebab kehilangan energi.

Kehilangan energi pada saluran tertutup/pipa (Gambar 2) diakibatkan oleh adanya gesekan air dengan dinding pipa lurus (kehilangan energi primer) dan diakibatkan perubahan arah aliran yang diakibatkan oleh belokan dan perubahan penampang pipa (kehilangan energi sekunder). Pada jaringan perpipaan (pipa air minum) kehilangan energi primer lebih besar dibandingkan dengan kehilangan energi sekunder ($\pm 10\%$ dari kehilangan primer).



Gambar 2. Bentuk-bentuk penyebab kehilangan energi

1.2. Perumusan Masalah

Kehilangan energi pada saluran tertutup/pipa disebabkan gesekan fluida/air dengan dinding pipa disebut kehilangan energi primer (*Major Losses*) dan perubahan penampang pipa, perubahan arah aliran pada pipa dan belokan pipa disebut kehilangan energi sekunder (*Minor Losses*). Kekasaran pipa merupakan faktor penyebab besar/kecilnya gesekan fluida/air dengan dinding pipa. Kekasaran pipa yang terbuat dari **pipa baja dan pipa pvc** mempunyai perbedaan, yang akan menyebabkan kehilangan energi (*Head Losses*) yang berbeda. Kehilangan energi dapat diketahui dengan persamaan empiris dan dengan percobaan di laboratorium.

1.3. Tujuan Penelitian

Kehilangan energi pada pipa dapat diketahui dengan persamaan empiris dan percobaan laboratorium. Persamaan empiris yakni persamaan *Darcy-Weisbach dan Hansen-Williams*, dapat digunakan apabila diketahui koefisien kekasaran pipanya. Koefisien kekasaran merupakan fungsi dari beberapa variabel, sehingga koefisien ini sulit diketahui secara pasti. Oleh karena itu untuk mengetahui kehilangan energi dilakukan dengan percobaan kehilangan energi (*head losses*), dan pada penelitian ini digunakan **pipa baja dan pipa pvc**, sehingga akan diperoleh perbedaan koefisien kekasarannya.

1.4. Kontribusi/Manfaat Penelitian

Untuk mendapatkan pipa yang baik diperlukan koefisien kekasaran yang memberikan kehilangan energi yang minimum. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah **(1) Sebagai dasar pemilihan dan penggunaan jenis pipa yang baik, (2) Sebagai bahan referensi dalam perkuliahan bagi mahasiswa program studi teknik sipil, (3) Untuk memperoleh spesifikasi pipa yang baik.** Penelitian ini juga memberikan kesempatan dalam hal pengembangan laboratorium.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Pipa

Pipa digunakan sebagai saluran untuk mengalirkan air, gas, minyak dan cairan-cairan lain. Pipa yang dimaksud dalam hal ini terdiri dari pipa itu sendiri dan juga termasuk fitting, katup dan komponen-komponen lainnya yang merupakan sistem perpipaan. Komponen-komponen pipa adalah : Pipa, flens (*flanges*), katup (*valves*), alat penyambung (*fittings*), dan lain sebagainya.

2.2. Kehilangan energi pada sistem perpipaan

Kehilangan energi yang terjadi pada perpipaan disebabkan oleh :

- akibat gesekan pipa dengan fluida/air (kehilangan energi primer)
- akibat perubahan penampang pipa, belokan dan perubahan arah aliran pada pipa (kehilangan energi sekunder)

2.2.1. Kehilangan energi primer (*Mayor Losses*)

Kehilangan energi primer, yang disebabkan oleh gesekan sekeliling pipa dan sepanjang pipa. Secara teoritis kehilangan energi primer dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan yang menurut White (1986), adalah persamaan yang disebut dengan Persamaan Darcy-Weisbach (persamaan 1.) yaitu :

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (\text{m}) \quad \dots\dots\dots(1.)$$

dimana :

- f = faktor gesekan (*Darcy friction factor*), nilainya dapat diperoleh dari diagram Moody maupun secara persamaan empiris.
- L = panjang pipa (m)
- d = diameter pipa (m)
- V = kecepatan aliran (m/dtk)
- g = percepatan gravitasi

Untuk menentukan koefisien gesekan (f), Balseus memberikan persamaan koefisien gesek untuk pipa halus pada batasan angka bilangan Reynolds tertentu. Prandtl

mengusulkan suatu rumus semi empiris yang dapat digunakan secara menyeluruh (berbagai angka Reynolds). Koefisien gesek juga dipengaruhi oleh jenis aliran, untuk aliran laminar (bilangan Reynolds kecil),

$$f = \frac{64}{R_e} \dots\dots\dots(2.)$$

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Blasius, mengemukakan koefisien gesekan f untuk pipa halus dalam bentuk,

$$f = \frac{0.316}{R_e^{0.25}} \dots\dots\dots(3.)$$

Rumus ini berlaku untuk $4.000 < R_e < 10^5$

Untuk pipa kasar nilai f tidak hanya tergantung pada angka Reynolds, tetapi juga pada dinding pipa yaitu kekasaran relative k/D, atau :

$$f = \phi(R_e, k / D) \dots\dots\dots(4.)$$

Nikuradse melakukan percobaan tentang pengaruh kekasaran pipa. Percobaan tersebut meliputi daerah aliran laminar dan turbulent sampai pada angka Reynolds $R_e = 10^6$, dan untuk nilai k/D yang bervariasi antara 0.0333 sampai 0.0009. hasil percobaan merupakan hubungan antara f, R_e dan k/D.

Untuk menentukan nilai koefisien gesek (f) untuk aliran melalui pipa hidraulis licin (persamaan 5.) dan untuk aliran pipa kasar (persamaan 6.).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{R_e \sqrt{f}}{2.51} \dots\dots\dots(5.)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{3.7D}{k} \dots\dots\dots(6.)$$

Untuk aliran didaerah transisi, Colebrook mengusulkan persamaan 7., yang merupakan gabungan dari persamaan 5 dan persamaan 6,

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{f}} \dots\dots\dots(7.)$$

Dimana nilai k, seperti pada tabel 1.

Tabel 1. : Nilai k untuk berbagai jenis pipa

Jenis pipa (baru)	Nilai k (mm)
Kaca	0.0015
Besi dilapis aspal	0.06 - 0.24
Besi tuang	0.18 - 0.90
Plester semen	0.27 - 1.20
Beton	0.30 - 3.00
Baja	0.03 - 0.09
Baja dikeling	0.90 - 9.00
Pasangan batu	6.00

Persamaan Hazen – Williams (persamaan 8.) juga dapat digunakan untuk menentukan kehilangan energi yang primer :

$$h_f = \frac{10,666 \times Q^{1,85} \times L}{C^{1,85} \times D^{4,85}} \text{ (m)} \quad \dots\dots\dots(8.)$$

- dimana : L = panjang pipa (m)
 C = koefisien Hazen-Williams
 D = diameter pipa (m)
 Q = debit aliran (m³/dtk)

2.2.2. Kehilangan energi sekunder (*Minor Losses*)

Kehilangan energi sekunder adalah kehilangan energi yang disebabkan karena sambungan, belokan, katup, pembesaran / pengecilan penampang, dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (9.) seperti berikut:

$$h_1 = h_0 + h_b + h_c \text{ (m)} \quad \dots\dots\dots(9.)$$

a. Kerugian pada bagian pemasukan

Untuk menghitung kehilangan energi pada bagian pemasukan digunakan persamaan (10.) :

$$h_0 = k_0 \frac{v^2}{2g} \text{ (m)} \quad \dots\dots\dots(10.)$$

Dimana k_0 = Koefisien gesek pada mulut pemasukan.

b. Kerugian karena sambungan

Untuk menghitung kerugian Head karena belokan digunakan rumus Fuller ditulis dalam bentuk persamaan (11.), yaitu :

$$h_b = f \frac{V^2}{2g} \text{ (m)} \dots\dots\dots(11.)$$

Dimana f = koefisien kehilangan karena sambungan, seperti pada persamaan (12.) berikut :

$$f = \left[0.131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \dots\dots\dots(12.)$$

R = jari – jari lengkungan sumbu sambungan.

c. Kerugian karena perubahan penampang

Untuk menghitung kerugian energi karena perubahan penampang digunakan persamaan (13.) berikut :

$$h_c = k_c \frac{V^2}{2g} \text{ (m)} \dots\dots\dots(13.)$$

Dimana k_c = koefisien perubahan penampang.

d. Kerugian pada belokan

Ada dua macam belokan pipa, yaitu lengkung dan patah (*mitter atau multipiece bend*). Untuk belokan lengkung sering dipakai rumus Fuller (persamaan 14.), dinyatakan sebagai berikut :

$$k_{kb} = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \dots\dots\dots(14.)$$

dimana :

- k_{kb} = Koefisien kerugian belokan
- R = Jari – jari belokan pipa (m)
- D = Diameter pipa (m)
- θ = Sudut belokan (derajat)

Dan untuk belokan lengkung, dimana koefisien kerugian seperti pada persamaan 15. sebagai berikut :

$$k_{kb-th} = 0,0175 \times \lambda \left(\frac{R}{D} \right) \theta \dots\dots\dots(15.)$$

dimana:

$$\lambda = \frac{5}{Re^{0,45}} \left(\frac{D}{2R} \right)$$

dan

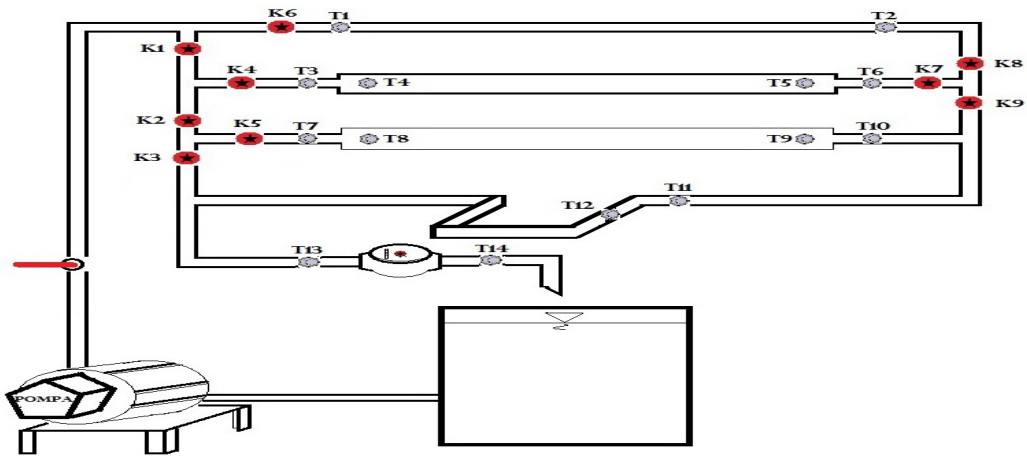
$$1400 < Re \sqrt{\frac{D}{2R}} < 5000$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang akan dilakukan adalah dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Merangkai jaringan pipa yang terdiri dari pipa baja dan pipa pvc seperti pada gambar 3 (percobaan kehilangan energi).
2. Menjalankan aliran air dengan menghidupkan pompa.
3. Melakukan pengukuran tekanan pada T4 dan T5 pada kondisi aliran permanen (pompa beroperasi ± 10 menit), atau pada pipa baja, sehingga diperoleh kehilangan energi (T4 – T5).
4. Melakukan pengukuran tekanan pada T8 dan T9 pada kondisi aliran permanen (pompa beroperasi ± 10 menit), atau pada pipa pvc, sehingga diperoleh kehilangan energi (T8 – T9).



Gambar 3. : Rangkaian percobaan kehilangan energi (*head losses*)

5. Berdasarkan nilai yang diperoleh dari langkah 3 dan 4, maka diperoleh perbedaan koefisien kekasaran pipa baja dan pipa pvc.
6. Berdasarkan nilai yang diperoleh dari langkah 3 dan 4, dengan menggunakan persamaan 1, diperoleh koefisien Darcy-Weisbach (koefisien kekasaran pipa, f), dan berdasarkan persamaan 8 diperoleh koefisien Hansen-Williams (koefisien C)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Pipa Baja.

Dari penelitian rangkaian pipa didapat hasil tekanan pada setiap perubahan bentuk ataupun diameter pipa sebagai berikut, yaitu :

Tabel 4.1. : Tekanan pada Pipa Baja ½ inchi.

No.	Volume (L)	Detik (t)	P1	P2	P11	P12	P13	P14
1	10 L	66,13	0,58	0,56	0,52	0,50	0,48	0,04
2	10 L	65,66	0,59	0,57	0,52	0,50	0,47	0,05
3	10 L	67,66	0,58	0,56	0,52	0,49	0,48	0,04

Tabel 4.2. : Tekanan pada pipa Baja 1 inchi.

No.	Volume (L)	Detik (t)	P3	P4	P5	P6	P11	P12	P13	P14
1	10	68,23	0,48	0,52	0,52	0,50	0,46	0,45	0,44	0,06
2	10	69,17	0,48	0,52	0,51	0,49	0,46	0,45	0,44	0,05
3	10	68,02	0,48	0,52	0,52	0,50	0,47	0,46	0,43	0,04

4.1.2 Pipa PVC

Dari penelitian rangkaian pipa didapat hasil tekanan pada setiap perubahan bentuk ataupun diameter pipa sebagai berikut, yaitu :

Tabel 4.3. : Tekanan pa pipa PVC ½ inchi.

No.	Volume (L)	Detik (t)	P7'	P8'	P11	P12	P13	P14
1	10 L	62,20	0,50	0,49	0,45	0,43	0,40	0,04
2	10 L	62,18	0,50	0,49	0,45	0,43	0,41	0,05
3	10 L	62,19	0,50	0,50	0,45	0,43	0,40	0,05

Tabel 4.4. : Tekanan pada pipa PVC 1 inchi.

No.	Volume (L)	Detik (t)	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
1	10	62,18	0,46	0,49	0,50	0,48	0,45	0,44	0,43	0,04
2	10	61,78	0,46	0,50	0,50	0,49	0,45	0,44	0,43	0,05
3	10	62,43	0,46	0,49	0,49	0,47	0,44	0,43	0,42	0,04

4.2 Kecepatan aliran

- Kecepatan aliran pada pipa Baja ½ inchi, dari tabel 4.1. diperoleh bahwa :
Kecepatan aliran $V = Q/A$ atau $V = (\text{Volume aliran/waktu})/\text{Luas penampang basah}$,
Berdasarkan hasil penelitian,
Volume aliran = 10 liter,
Waktu = $(66,13 + 65,66 + 67,66)/3 = 66,48$ detik
Diameter pipa = ½ inchi = 0,0127 m
Maka kecepatan aliran = 1,187 m/dtk.
- Kecepatan aliran pada pipa Baja 1 inchi, dari tabel 4.2. diperoleh bahwa :
Kecepatan aliran $V = Q/A$ atau $V = (\text{Volume aliran/waktu})/\text{Luas penampang basah}$,
Berdasarkan hasil penelitian,
Volume aliran = 10 liter,
Waktu = $(68,23 + 69,17 + 68,02)/3 = 68,47$ detik
Diameter pipa = ½ inchi = 0,0254 m
Maka kecepatan aliran = 0,288 m/dtk.
- Kecepatan aliran pada pipa PVC ½ inchi, dari tabel 4.3. diperoleh bahwa :
Kecepatan aliran $V = Q/A$ atau $V = (\text{Volume aliran/waktu})/\text{Luas penampang basah}$,
Berdasarkan hasil penelitian,
Volume aliran = 10 liter,
Waktu = $(62,20 + 62,18 + 62,19)/3 = 62,19$ detik
Diameter pipa = ½ inchi = 0,0127 m
Maka kecepatan aliran = 1,269 m/dtk.
- Kecepatan aliran pada pipa PVC 1 inchi, dari tabel 4.4. diperoleh bahwa :
Kecepatan aliran $V = Q/A$ atau $V = (\text{Volume aliran/waktu})/\text{Luas penampang basah}$,

Berdasarkan hasil penelitian,

Volume aliran = 10 liter,

Waktu = $(62,18 + 61,78 + 62,43)/3 = 62,13$ detik

Diameter pipa = $\frac{1}{2}$ inchi = 0,0254 m

Maka kecepatan aliran = 0,318 m/dtk.

4.3 Kehilangan Energi

Hasil pengukuran kehilangan energi akibat gesekan fluida dengan dinding pipa (mayor losses) adalah sebagai berikut :

Pada pipa baja

- Kehilangan energi pada pipa $\frac{1}{2}$ inchi adalah 0,2 m
- Kehilangan energi pada pipa 1 inchi adalah 0,167 m

Pada pipa PVC

- Kehilangan energi pada pipa $\frac{1}{2}$ inchi adalah 0,267 m
- Kehilangan energi pada pipa 1 inchi adalah 0,1 m

Hasil perhitungan kehilangan energi akibat gesekan fluida dengan dinding pipa (mayor losses) adalah sebagai berikut :

Pada pipa baja $\frac{1}{2}$ inchi,

Diameter pipa = 0,0127 m

Panjang pipa = 1,5 m

Koefisien gesekan pipa = 0,00256

Maka kehilangan energi berdasarkan persamaan Darcy-Weisbach,

$$h_f = f \times (L/D) \times (V^2/2g) = 0,00256 \times (1,5/0,0127) \times (1,187^2/2 \times 9,81) = 0,217 \text{ m}$$

Pada pipa baja 1 inchi,

Diameter pipa = 0,0254 m

Panjang pipa = 1,5 m

Koefisien gesekan pipa = 0,0256

Maka kehilangan energi berdasarkan persamaan Darcy-Weisbach,

$$h_f = f \times (L/D) \times (V^2/2g) = 0,0256 \times (1,5/0,0254) \times (1,288^2/2 \times 9,81) = 0,127 \text{ m}$$

Hasil perhitungan kehilangan energi akibat gesekan fluida dengan dinding pipa (mayor losses) adalah sebagai berikut :

Pada pipa PVC ½ inchi,

Diameter pipa = 0,0127 m

Panjang pipa = 1,5 m

Koefisien gesekan pipa = 0,0256

Maka kehilangan energi berdasarkan persamaan Darcy-Weisbach,

$$h_f = f \times (L/D) \times (V^2/2g) = 0,0256 \times (1,5/0,0127) \times (1,187^2/2 \times 9,81) = 0,248 \text{ m}$$

Pada pipa 1 inchi,

Diameter pipa = 0,0254 m

Panjang pipa = 1,5 m

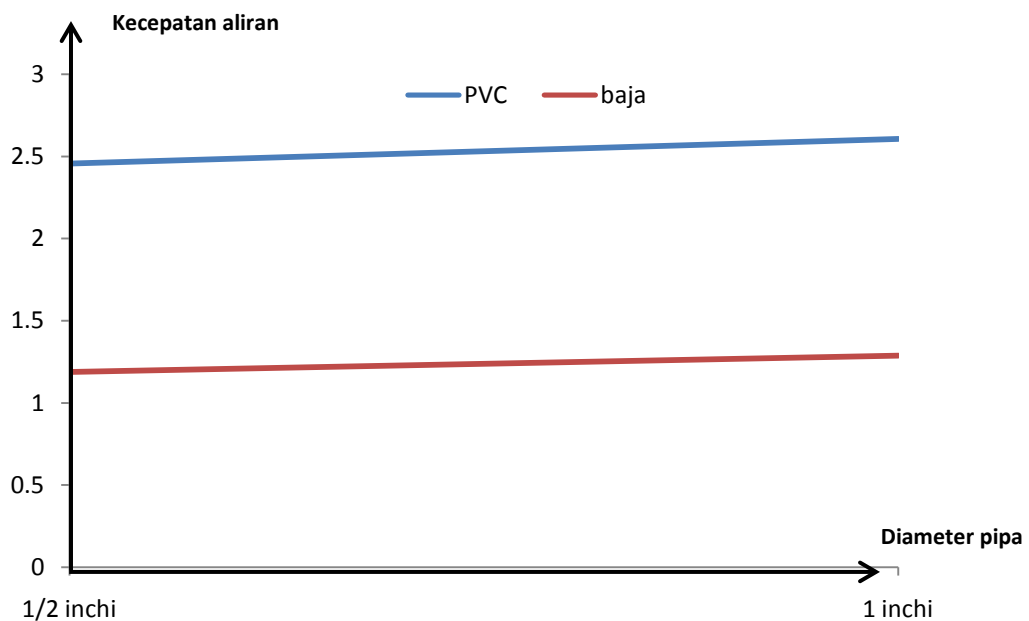
Koefisien gesekan pipa = 0,0256

Maka kehilangan energi berdasarkan persamaan Darcy-Weisbach,

$$h_f = f \times (L/D) \times (V^2/2g) = 0,0256 \times (1,5/0,0254) \times (1,318^2/2 \times 9,81) = 0,134 \text{ m}$$

4.4. Pembahasan

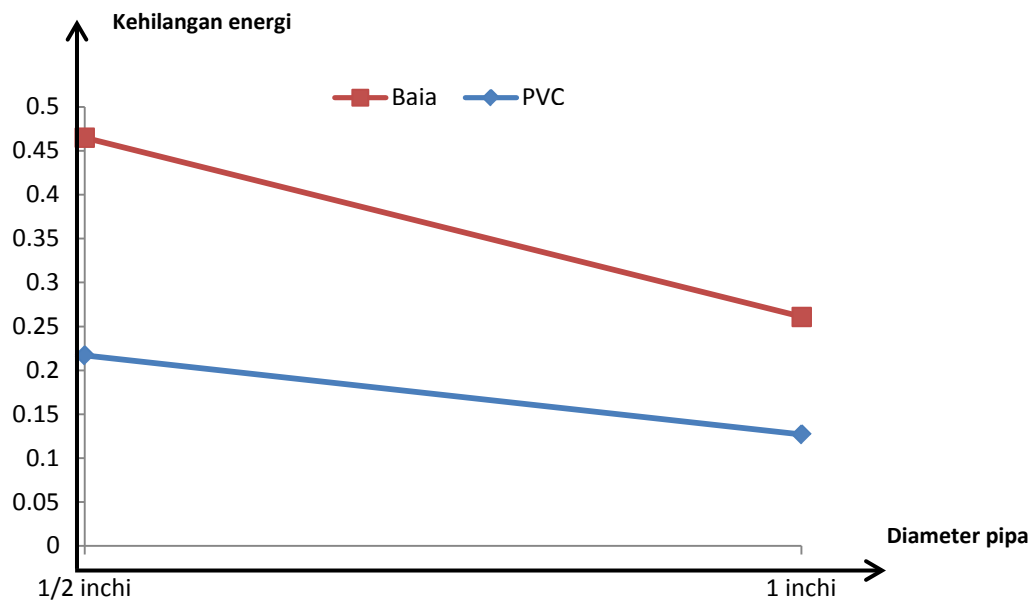
Kecepatan aliran pada pipa baja dan PVC



Grafik 4.1. : Kecepatan aliran pada pipa baja dan PVC

Dari Grafik 4.1 diteliti bahwa kecepatan aliran pada pipa baja lebih kecil bila dibandingkan dengan kecepatan aliran pada Pipa PVC.

Kehilangan energi (mayor losses) pada pipa baja dan PVC.



Grafik 4.2. : Kehilangan energi pada pipa baja dan PVC

Dari Grafik 4.2 diteliti bahwa kehilangan energi dikarenakan gesekan antar fluida dan dinding pipa atau disebut dengan mayor losses (h_f) pada pipa baja lebih besar dari pada Pipa PVC.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan yaitu:

1. Kecepatan aliran pada diameter yang sama, kecepatan pada Pipa PVC lebih besar dari pada Pipa Baja yaitu :
 - Diameter pipa $\frac{1}{2}$ inch kecepatan aliran pada pipa PVC = 1,269 m/s dan pada pipa Baja = 1,187 m/s.
 - Diameter 1 inch kecepatan aliran pada pipa PVC = 1,318 m/s dan pada pipa Baja = 1,288 m/s.
2. Kehilangan energi pada diameter yang sama, kehilangan energi pada pipa Baja lebih besar dari pada pipa PVC.
3. Kehilangan energi pada jenis/material pipa yang sama, akan berbeda apabila diameter yang berbeda.

5.2. Saran

Pada penelitian ini kehilangan energi belum menunjukkan perbedaan yang signifikan, oleh karena itu pd penelitian yang berikutnya disarankan dengan panjang pipa yang lebih panjang agar perbedaannya lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Departemen Pekerjaan Umum, Pekerjaan Lapis Pondasi Jalan, Buku 1 Umum, Manual Konstruksi dan Bangunan, Direktorat Jendral Bina Marga, 2006
2. Departemen Pekerjaan Umum, Pekerjaan Lapis Pondasi Jalan, Buku 3 Lapis Pondasi Agregat, Manual Konstruksi dan Bangunan, Direktorat Jendral Bina Marga, 2006
3. Departemen Pekerjaan Umum, Pekerjaan Lapis Pondasi Jalan, Buku 8 Permasalahan Lapangan, Manual Konstruksi dan Bangunan, Direktorat Jendral Bina Marga, 2006
4. Departemen Pekerjaan Umum, Petunjuk Pelaksanaan Lapisan Atas Aspal Beton (Laston), Direktorat Jendral Bina Marga, 2010
5. <http://id.wikipedia.org/wiki/Bentonite>(10/02/2013)
6. <http://achmadinblog.wordpress.com/2010/11/30/bentonit/>(10/02/2013)
7. Sukirman Silvia “**Perkerasan lentur jalan raya**”, Bandung, Bandung 1992.

