

## PENGARUH JENIS LAPISAN KEKASARAN PERMUKAAN PIPA TERHADAP KOEFISIEN GESEK

Ratih Diah Andayani\*, Siti Zahara Nuryanti\*, Asmadi\*, Rama Candra\*\*

\*Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas IBA

\*\*Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas IBA

Email : [ratihd.andayani@gmail.com](mailto:ratihd.andayani@gmail.com)

### ABSTRAK

Pipa merupakan salah satu alat transportasi yang paling efektif untuk memindahkan fluida. Aliran fluida dalam pipa dapat laminar atau turbulen bergantung dari faktor-faktor yang mempengaruhinya, diantaranya kekasaran permukaan pipa, kecepatan aliran fluida dan kekentalan fluida. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh jenis lapisan permukaan pipa dan kecepatan aliran fluida terhadap nilai koefisien gesek. Kecepatan aliran fluida dilakukan dengan mengatur bukaan katub. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan pipa PVC berdiameter  $\varnothing$  22 mm dengan panjang pipa 1 m, fluida yang digunakan air pada suhu 30 °C. Kekasaran permukaan pipa divariasikan yaitu, pipa tanpa lapisan tambahan, pipa dilapisi pasir halus, dilapisi pasir kasar, pipa dibintik lubang, dilapisi daun talas, pecahan batu bata, dan pipa dilapisi serat kayu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis material lapisan mempengaruhi kekasaran permukaan pipa, semakin tinggi nilai kekasaran permukaan pipa maka koefisien geseknya cenderung meningkat. Dari ketujuh jenis lapisan permukaan, pipa uji yang dilapisi pecahan batu bata memiliki nilai kekasaran relatifnya paling tinggi ( $\epsilon$ ) 2,2 mm,  $\epsilon/D$  2,2/22 = 01 dan memiliki nilai koefisien gesek paling tinggi dibandingkan dengan enam lapisan lainnya yaitu rata-rata sebesar 0,1638. Dan yang paling kecil nilai kekasaran pipa adalah yang dilapisi daun talas dengan kekasaran relatif ( $\epsilon$ ) 0,1,  $\epsilon/D$  = 0,1/22 = 0,0045 mempunyai nilai koefisien gesek rata-rata 0,0582, dan semakin besar bilangan Reynold, koefisien geseknya cenderung turun.

Kata Kunci : Kekasaran permukaan pipa, bilangan Reynold, koefisien gesek

### 1. PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Instalasi perpipaan banyak digunakan pada industri dan perumahan untuk pendistribusian fluida. Karena pipa merupakan salah satu cara transportasi yang paling efektif untuk mengalirkan fluida dari suatu tempat ke tempat lain. Setiap fluida yang mengalir melalui konduit tertutup akan menghasilkan gesekan yang dapat mengakibatkan kerugian berupa rugi tekanan.

Untuk mengetahui lebih jauh tentang rugi tekanan dalam pipa yang diakibatkan kekasaran permukaan pipa, maka perlu dilakukan penelitian yang menghubungkan antara kekasaran permukaan pipa dengan berbagai macam jenis dan bentuk kekasaran dengan koefisien gesekan guna mendapatkan koefisien gesek suatu pipa. Koefisien gesek pipa dapat dipakai untuk mendapatkan suatu formula tentang pengurangan friksi, penelitian tentang hubungan kekasaran permukaan pipa dengan rugi tekanan telah dilakukan oleh Arhanudin 2003 yang melakukan pengujian-pengujian pada pipa yang dikasarkannya dengan pasir dan hasilnya semakin besar bilangan Reynold maka koefisien geseknya semakin kecil.

Pada penelitian ini fluida yang digunakan adalah air pada suhu 30 °C. Alat pengujian menggunakan pipa PVC berdiameter  $\varnothing$  22 mm dengan panjang pipa 1 m. Kekasaran permukaan pipa divariasikan yaitu, pipa tanpa lapisan tambahan, pipa dilapisi pasir halus, dilapisi pasir kasar, pipa dibintik lubang, dilapisi daun talas, dilapisi pecahan batu bata, dan dilapisi serat kayu.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji pengaruh kekasaran permukaan pipa terhadap koefisien gesek dan rugi tekanan pada pipa.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pipa adalah saluran tertutup yang berpenampang lingkaran digunakan untuk mengalirkan fluida dengan aliran penuh. Fluida yang dialirkan dapat berupa zat cair atau gas. Tekanan di dalam pipa bisa lebih kecil atau lebih besar dari tekanan atmosfer.

Fluida adalah zat yang bisa mengalami perubahan bentuk secara kontinu / terus-menerus bila terkena tekanan atau gaya geser walaupun relatif kecil atau bisa juga dikatakan suatu zat yang mengalir, fluida mencakup zat cair dan gas. Berdasarkan kondisinya fluida terbagi menjadi 2, yaitu :

1. Fluida statis  
fluida statis adalah fluida yang berada kondisi diam dan tidak bergerak. Contohnya air sumur, air dalam gelas, air laut dan lain-lain.
2. Fluida dinamis  
Fluida dinamis adalah fluida yang berada dalam kondisi bergerak atau mengalir. Contohnya adalah aliran air, angin, dan lain-lain

Aliran fluida digolongkan banyak cara seperti turbulen, laminar, nyata, ideal, mampubalik, tak mampubalik, stedi, tak stedi, seragam, tak seragam, rotasional, tak rotasional (Victor L.Streeter, 1996).

### 2.1. Viskositas

Viskositas merupakan sifat zat cair yang menyebabkan terjadinya tegangan geser pada saat zat cair mengalir. Terjadinya tegangan geser menyebabkan kehilangan sebagian energi karena sebagian energi aliran berubah menjadi energi lain, di antaranya energi panas dan energi bunyi.

Hukum viskositas Newton menyatakan bahwa tegangan geser antara dua partikel berbanding lurus dengan viskositas dan perbedaan kecepatan antara dua partikel tersebut. Hukum viskositas Newton dinyatakan :

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

- $\tau$  = tegangan geser ( $N/m^2$ )
- $du/dy$  = laju sebuah lapisan yang bergerak relatif terhadap lapisan berdekatan

### 2.2. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik merupakan perbandingan antara viskositas absolut terhadap kerapatan massa. Viskositas kinematik muncul dalam banyak penerapan misalnya dalam bilangan reynolds. Nilai viskositas kinematik, adalah:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots \dots \dots (2)$$

dimana :

- $\nu$  = viskositas absolut
- $\rho$  = densitas

### 2.3. Kerugian Head

Kerugian *head* adalah kerugian energi persatuan berat fluida. Kerugian *head* terbagi menjadi dua yaitu kerugian *head* mayor dan kerugian *head* minor

$$H_{Loss} = H_{Mayor} + H_{Minor}$$

1. **Head mayor**

Kerugian *head* mayor merupakan kerugian yang dialami oleh fluida yang mengalir karena adanya gesekan antara fluida dengan permukaan bagian dalam pipa. Kerugian gesekan didalam pipa dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$h_{f(mayor)} = f \frac{L v^2}{D 2 g} \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

- $h_f$  = Kerugian *head* di dalam pipa (m).
- $f$  = Koefisien kerugian gesekan.
- $D$  = Diameter pipa (m).
- $v$  = Kecepatan rata-rata aliran dalam pipa (m/s).
- $g$  = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>).
- $L$  = Panjang pipa (m).

$$f = \frac{h_f \cdot s \cdot D \cdot g}{L \cdot v^2} \dots\dots\dots(4)$$

Rumus *Hazen-williams*

Rumus ini pada umumnya dipakai untuk menghitung kerugian head dalam pipa yang relatif sangat panjang seperti jalur pipa menyalurkan air minum

$$h_f = \frac{10,666 Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,85}} \times L \dots\dots\dots(5)$$

- dimana :
- $V$  = Kecepatan rata-rata didalam pipa (m/s).
  - $C$  = Koefisien gesekan
  - $R$  = Jari-jari Hidrolik (m).
  - $S$  = Gradian Hidrolik ( $S = h_f/L$ )
  - $Q$  = Laju aliran (m<sup>3</sup>/s).
  - $L$  = Panjang pipa (m).

Persamaan untuk menentukan nilai bilangan *Reynold* dinyatakan dengan persamaan

$$Re = \frac{v D}{\nu} \dots\dots\dots(6)$$

dimana :

- $Re$  = Bilangan *Reynold*.
- $V$  = Kecepatan rata-rata aliran dalam pipa (m/s).
- $D$  = Diameter dalam pipa (m).
- $\nu$  = Viskositas kinematik zat cair (m<sup>2</sup>/s).

Untuk Nilai  $Re < 2300$ , aliran bersifat laminar.

$Re > 4000$ , aliran bersifat turbulen.

Pada  $Re = 2300 - 4000$  terdapat daerah transisi, dimana aliran dapat bersifat laminar atau turbulen tergantung pada kondisi pipa dan aliran.

a. Aliran laminar

Koefisien kerugian gesek dalam pipa ( $\lambda$ ) pada aliran laminar dinyatakan dalam persamaan :

$$\lambda = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots(7)$$

b. Aliran Turbulen

Untuk menghitung kerugian gesek dalam pipa pada aliran turbulen dinyatakan dalam persamaan :

$$\lambda = 0,020 + \frac{0,0005}{D} \dots\dots\dots(8)$$

dimana D adalah diameter dalam pipa, Rumus ini berlaku untuk pipa baru dan besi cor. Jika pipa telah dipakai selama bertahun-tahun, harga  $\lambda$  akan menjadi 1,5 sampai 2,0 kali harga barunya.

**2. Head minor**

Kerugian *head* minor adalah kerugian yang dialami oleh fluida selama fluida tersebut mengalir melalui pipa yang penampangnya berubah, terjadi belokan, percabangan dan lain sebagainya. Kerugian *head* minor dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$h_{f(minor)} = f \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(9)$$

dimana :

- $h_f$  = Kerugian *head* (m).
- $f$  = Koefisien rugi gesekan.
- $v$  = Kecepatan rata-rata didalam pipa (m/s).
- $g$  = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>).

a. Koefisien kerugian pada belokan pipa.  
Ada dua macam belokan pipa, belokan langsung dan belokan patah (miter atau *multi-piece bend*).

b. Pengecilan penampang pipa secara mendadak.  
Kerugian head untuk pengecilan mendadak dinyatakan dengan rumus:

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(10)$$

c. Kerugian karena pembesaran penampang secara gradual.  
Dalam hal ini kerugian *head* dinyatakan sebagai:

$$h_f = f \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \dots\dots\dots(11)$$

- Dimana :
- $v_1$  = Kecepatan rata rata di penampang kecil (m/s).
  - $v_2$  = Kecepatan rata rata di penampang besar (m/s).

d. Kerugian pada Ujung keluar pipa.  
Kerugian keluar pada ujung pipa diberikan menurut rumu:

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana :  
 $f = 1,0$

**2.4. Persamaan Bernoulli**

Suatu aliran fluida termampatkan (*incompressible*) yang memiliki tekanan P, kecepatan  $v$ , dan beda ketinggian  $z$ . Persamaan Bernoulli umumnya ditulis dalam bentuk<sup>[3]</sup>:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (13)$$

dimana :

- $z$  = *head* elevasi
- $\frac{P_1}{\rho \cdot g}$  = *head* tekanan

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} = \text{head kecepatan}$$

### 2.5. Diagram Moody

Diagram Moody memberikan faktor gesekan pipa. Faktor ini dapat ditentukan oleh bilangan Reynold dan kekasaran relatif dari pipa. Bila pipa semakin kasar, maka kemungkinan turbulen akan semakin besar, kekasaran relatif didefinisikan sebagai berikut

$$\frac{\varepsilon}{D} \dots\dots\dots (14)$$

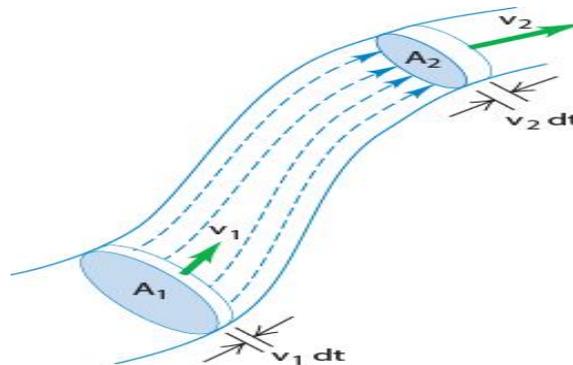
Dimana :

- $\varepsilon$  = Kekasaran
- D = Diameter Pipa

### 2.6. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas menghubungkan kecepatan fluida di suatu tempat dengan tempat lain. Garis singgung di suatu titik pada garis alir menyatakan arah kecepatan fluida. Garis alir tidak ada yang berpotongan satu sama lain. Tabung air merupakan kumpulan dari garis-garis alir. Pada tabung alir, fluida masuk dan keluar melalui mulut-mulut tabung. Fluida tidak boleh masuk dari sisi tabung karena dapat menyebabkan terjadinya perpotongan garis-garis alir. Potongan ini akan menyebabkan aliran *steady* lagi

Agar lebih memahami tentang persamaan kontinuitas, perhatikan ilustrasi berikut:



Gambar 1 : Aliran stedi melalui tabung

### 2.7. Diagram Moody

Diagram Moody menunjukkan kekasaran relatif permukaan pipa. Bila permukaan pipa semakin kasar, maka kemungkinan besar aliran turbulen, Kekasaran relatif didefinisikan sebagai berikut

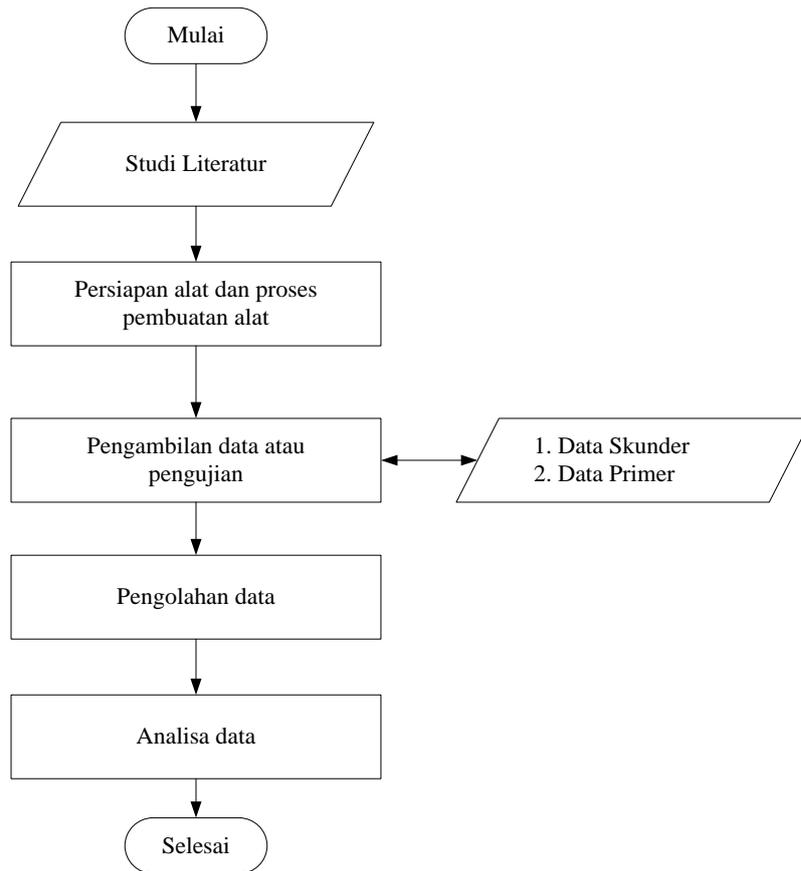
$$\frac{\varepsilon}{D} \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :

- $\varepsilon$  = Kekasaran
- D = Diameter Pipa

### 3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dan studi literatur dengan merancang sebuah instalasi alat percobaan yang digunakan dalam pengambilan data. Data yang diperoleh dianalisa untuk mendapatkan hubungan antara bilangan Reynolds dengan koefisien gesek serta kekasaran permukaan dalam pipa dengan nilai koefisien gesek yang terjadi dalam aliran fluida di dalam pipa. Tahap-tahap penelitian yang dilakukan disajikan pada Gambar 1



Gambar 2 : Diagram Alir Penelitian

#### Alat dan Bahan

- Pompa
- Katup bypass
- Bak penampung
- Manometer
- Stop Watch
- Gelas ukur
- Termometer
- Pipa PVC
- Pasir halus
- Pasir kasar
- Daun talas
- Pecahan batu bata
- Serat kayu

### 3.1. Lokasi Pengujian

Lokasi pengujian dilakukan di laboratorium Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas IBA Palembang.

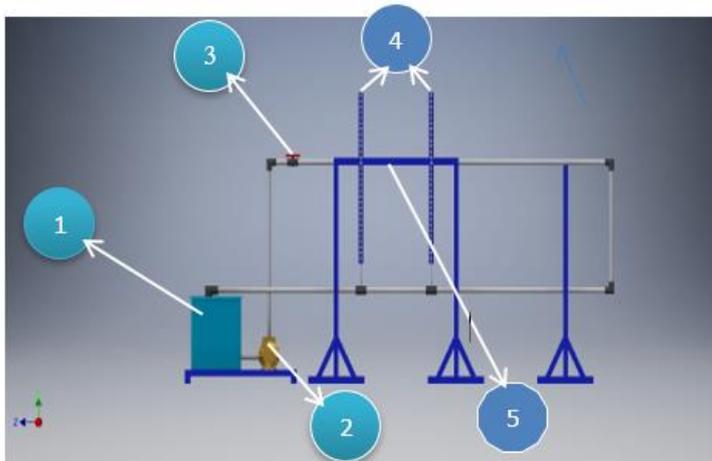
### 3.2. Prosedur Penelitian

#### - Persiapan Pengujian

1. Menyiapkan tempat untuk ruangan pengujian.
2. Menyiapkan pipa uji dengan melapisi permukaan pipa dengan 7 macam kekasaran yang berbeda, dengan cara memotong pipa menjadi dua bagian lalu melapisinya dengan kekasaran yang berbeda-beda, dan menyatukannya kembali dengan menggunakan lem.
3. Membuat rangkaian alat dengan menggunakan pipa PVC  $\frac{3}{4}$ ", pompa, katup dan drum penampungan sedemikian sehingga membentuk loop tertutup serta air bisa disirkulasikan
4. Memasang manometer dengan cara membuat dua buah lubang dengan  $\varnothing 3$  mm pada pipa pengujian. Jarak antara  $h_1$  dan  $h_2$  adalah 80 cm.

#### - Rancangan Peralatan Pengujian :

Rancangan peralatan pengujian disajikan pada Gambar 3



#### Keterangan Gambar

1. Bak Penampung
2. Pompa
3. Katup
4. Manometer
5. Pipa Uji L= 80 cm

Gambar 3 : Instalasi Perangkat Uji

Alat uji ini menggunakan pipa PVC  $\frac{3}{4}$  inchi dengan diameter dalam 22 mm, panjang pipa 1 m. Permukaan pipa tersebut dikasarkkan dengan 7 variasi lapisan yang berbeda . Pipa ini dihubungkan dengan satu buah pompa sentrifugal yang digunakan untuk menyedot air yang ada didalam tangki untuk dialirkan dalam pipa. Fluida yang dipakai air. Debit aliran diatur dengan menggunakan katup. Bukaannya diatur sedikit demi sedikit mulai dari Re rendah menuju tinggi. Pada alat uji dipasang dua buah manometer, jarak antara tap 80 cm untuk mengukur kerugian

#### - Prosedur Percobaan

Tahap-tahap pengujian yang dilakukan pada saat pengambilan data adalah sebagai berikut:

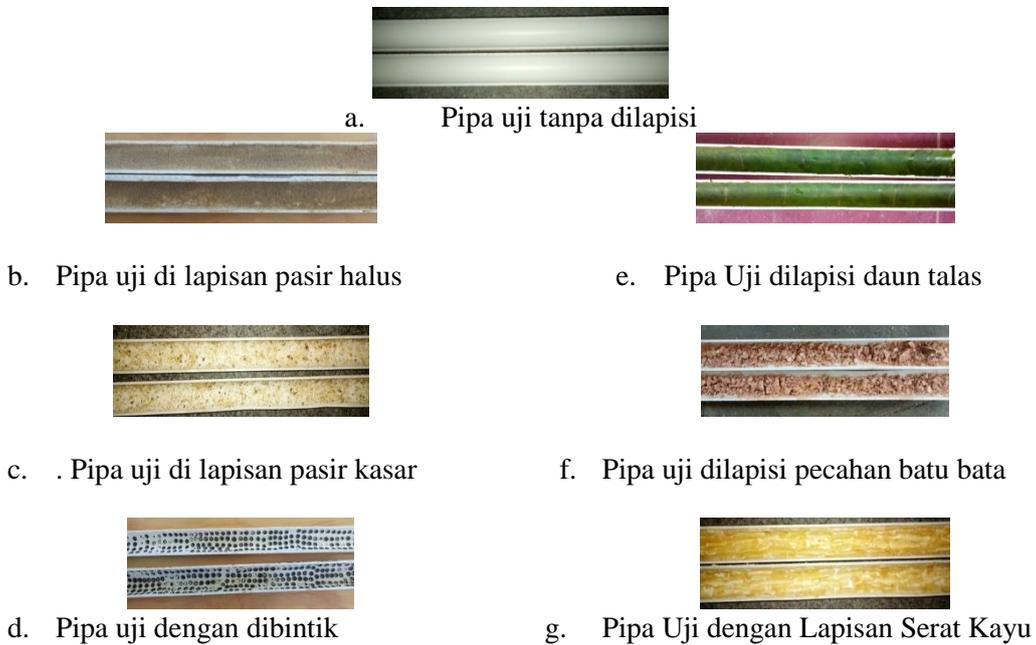
- 1) Pastikan tidak ada kebocoran
- 2) Memasang pipa pengujian
- 3) Mengisi air ke Bak Penampung
- 4) Memasang thermometer kedalam Bak Penampung untuk mengetahui temperatur fluida.
- 5) Memasang selang manometer
- 6) Mengatur bukaan katup
- 7) Menghidupkan pompa sehingga fluida dapat mengalir melalui instalasi pipa sehingga terjadi sirkulasi aliran fluida

- 8) Menampung air yang keluar dengan menggunakan gelas ukur dan mencatat waktu.
- 9) Mencatat selisih *head* yang terjadi pada manometer air.
- 10) Mengulangi pengambilan data dengan mengatur bukaan katup sehingga 6 kali bukaan katup.
- 11) untuk pengambilan data pada pipa pengujian berikutnya adalah dengan mematikan pompa dan mengganti pipa pengujian sebelumnya dengan pipa pengujian yang lain, proses pengambilan data sama dengan pengambilan awal.
- 12) Pengujian dilakukan berulang-ulang untuk mendapatkan hasil yang benar dan kerja alat pengujian dicek agar tidak terjadi penyimpangan.

**4. HASIL DAN PENGOLAHAN PENELITIAN**

**4.1. Hasil Penelitian**

Hasil Pelapisan permukaan pipa disajikan pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 : Hasil Pelapisan Permukaan Pipa Uji

Hasil pengambilan data untuk pipa uji dengan lapisan permukaan yang berbeda disajikan pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 7

**Tabel 1** : Data hasil pengujian tanpa lapisan tambahan.

NO	Bukaan Keran	Waktu (detik)	Volume (Liter)	Tinggi $h_1$ (mm)	Tinggi $h_2$ (mm)	$\Delta h$ (m)
1	1	4,42	2,086	20,2	13,1	0,071
2	2	3,76	2,126	36,6	27,0	0,096
3	3	3,39	2,034	45,4	34,9	0,105
4	4	3,15	1,978	48,0	36,9	0,111
5	5	3,08	2,038	49,6	38,1	0,115
6	6	3,06	2,056	49,9	38,3	0,116

**Tabel 2 :** Data hasil pengujian pipa dengan permukaan dalam lapisan pasir halus.

NO	Bukaan Keran	Waktu (detik)	Volume (Liter)	Tinggi $h_1$ (mm)	Tinggi $h_2$ (mm)	$\Delta h$ (m)
1	1	4,11	1,994	40,2	16,8	0,234
2	2	3,47	2,110	63,3	26,6	0,367
3	3	3,25	2,006	78,5	41,6	0,369
4	4	3,12	2,122	82,3	37,8	0,445
5	5	3,95	1,984	84,5	42,5	0,420
6	6	3,02	2,024	85,1	43,5	0,416

**Tabel 3 :** Data hasil pengujian pipa dengan lapisan pasir kasar

NO	Bukaan Keran	Waktu (detik)	Volume (Liter)	Tinggi $h_1$ (mm)	Tinggi $h_2$ (mm)	$\Delta h$ (m)
1	1	3,84	1,950	64,1	16,2	0,479
2	2	3,33	2,012	100,7	34,0	0,667
3	3	3,11	1,980	116,5	43,5	0,730
4	4	3,04	1,996	122,9	46,5	0,764
5	5	3,09	2,050	126,8	49,3	0,775
6	6	3,05	2,050	129,0	50,9	0,781

**Tabel 4 :** Data hasil pengujian pipa dengan dibintik lubang

NO	Bukaan Keran	Waktu (detik)	Volume (L)	Tinggi $h_1$ (cm)	Tinggi $h_2$ (cm)	$\Delta h$ (m)
1	1	3,77	2,026	46,0	16,7	0,293
2	2	3,37	2,060	69,9	32,1	0,378
3	3	3,20	2,086	83,9	41,4	0,425
4	4	3,17	2,084	87,4	45,9	0,415
5	5	3,15	2,090	91,4	48,5	0,429
6	6	2,79	2,070	92,6	40,6	0,520

**Tabel 5 :** Data hasil pengujian pipa dengan lapisan daun talas

NO	Bukaan Keran	Waktu (detik)	Volume (L)	Tinggi $h_1$ (cm)	Tinggi $h_2$ (*cm)	$\Delta h$ (m)
1	1	4,27	2,120	32,2	12,6	0,196
2	2	3,53	2,086	55,7	29,2	0,265
3	3	3,32	2,151	66,7	35,2	0,315
4	4	3,24	2,060	72,5	42,5	0,300
5	5	3,16	2,100	74,4	42,3	0,321
6	6	2,82	2,068	77,3	39,2	0,381

**Tabel 6 :** Data hasil pengujian pipa dengan lapisan batu bata

NO	Bukaan Keran	Waktu (detik)	Volume (L)	Tinggi $h_1$ (cm)	Tinggi $h_2$ (cm)	$\Delta h$ (m)
1	1	3,94	2,060	75,08	16,4	0,586
2	2	3,21	2,050	116,5	29,3	0,872
3	3	3,21	2,066	134,8	46,8	0,880
4	4	3,18	2,018	143,8	58,8	0,850
5	5	3,07	1,992	147,2	61,1	0,861
6	6	2,98	2,057	148,6	49,1	0,995

**Tabel 7 :** Data hasil pengujian pipa dengan lapisan serat Kayu

NO	Bukaan Keran	Waktu (detik)	Vol ((L)	Tinggi $h_1$ (cm)	Tinggi $h_2$ (cm)	$\Delta h$ (m)
1	1	3,83	2,040	79,2	17,8	0,614
2	2	3,61	2,056	116,5	56,0	0,605
3	3	3,30	2,038	131,0	60,8	0,702
4	4	3,21	2,030	142,2	69,0	0,732
5	5	3,17	2,040	144,9	69,9	0,750
6	6	2,97	1,986	141,7	62,2	0,795

#### 4.2. Pengolahan Data

Dari data hasil pengujian dianalisa pengaruh kekasaran permukaan pipa terhadap Bilangan Reynold dan koefisien geseknya. Sedangkan data yang diambil pada saat pengujian adalah volume, waktu, kerugian tinggi tekanan dan temperatur. Dari data tersebut kemudian dihitung kecepatan alir ( $v$ ), nilai bilangan Reynolds dan nilai koefisien geseknya. Berikut contoh perhitungan :

- Pipa uji berdiameter ( $D$ ) : 22 mm = 0,022 m
- Volume air yang tertampung pada gelas ukur ( $V$ ) : 2086 ml = 2,086 l
- Waktu yang tercatat pada saat pengujian ( $t$ ) : 4,42 s
- Selisih head yang terukur pada manometer air ( $h_f$ ) :  $h_1 - h_2 = 0,071$  m
- Gravitasi ( $g$ ) :  $9,81 \text{ m/s}^2$

#### Perhitungan Kecepatan Alir Fluida ( $V$ )

$$Q = V \cdot A$$

$$A = \pi D^2 / 4$$

$$Q = \frac{\text{Volume (l)}}{\text{waktu (s)}}$$

$$Q = \frac{v}{A} = \frac{2,086 \text{ l}}{4,42 \text{ s}} = 0,471 \text{ l/s} \times \frac{1 \text{ dm}^3}{1 \text{ l}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ dm}^3} = 0,0004719 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,0004719 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{1}{4}(3,14)(0,022 \text{ m})^2} = 1,245 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

#### Perhitungan Bilangan Reynold ( $Re$ )

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{995,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,245 \text{ m/s} \cdot 0,022 \text{ m}}{8,03 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s}} = 33948,5 = 3,3948 \times 10^4$$

#### Perhitungan Faktor Gesekan ( $f$ )

$$\Delta h_f = f \frac{L \cdot V^2}{2 \cdot D \cdot g}$$

$$f = \frac{\Delta h_f \cdot 2 \cdot D \cdot g}{L \cdot V^2}$$

$$\Delta h_f = \text{selisih head yang terukur pada manometer air} = 0,071 \text{ m}$$

$$f = \frac{0,071 \text{ m} \cdot 2,0,022 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}{0,8 \text{ m} \times (1,245 \text{ m/s})^2} = 0,0247$$

Hasil perhitungan secara lengkap disajikan pada Tabel 8 sampai dengan Tabel 11

Tabel 8 : Data Debit pada Berbagai Kekasaran Permukaan Pipa Uji

No	Bukaan keran	Debit Q (m <sup>3</sup> /s) (x 10 <sup>-4</sup> )						
		Polos	Pasir Halus	Pasir Kasar	Dibintik lubang	Daun Talas	Batu Bata	Serat Kayu
1	1	4,719	4,851	5,078	5,374	4,964	5,228	5,326
2	2	5,654	6,080	6,042	6,112	5,909	6,386	5,695
3	3	6,000	6,172	6,366	6,518	6,470	6,436	6,175
4	4	6,279	6,801	6,565	6,574	6,350	6,345	6,323
5	5	6,616	6,725	6,634	6,634	6,646	6,488	6,435
6	6	6,718	6,701	6,721	7,419	7,333	6,902	6,686

Tabel 9 : Data Kecepatan Aliran Pada Berbagai Kekasaran Permukaan Pipa

No	Bukaan keran	Laju Alir Fluida , V (m/s)						
		Polos	Pasir Halus	Pasir Kasar	Dibintik Lubang	Daun Talas	Batu Bata	Serat kayu
1	1	1,245	1,279	1,339	1,414	1,306	1,376	1,401
2	2	1,491	1,604	1,594	1,608	1,555	1,680	1,498
3	3	1,583	1,628	1,679	1,715	1,702	1,693	1,625
4	4	1,656	1,794	1,732	1,714	1,671	1,670	1,664
5	5	1,745	1,774	1,750	1,750	1,748	1,707	1,693
6	6	1,772	1,768	1,773	1,952	1,930	1,821	1,756

Tabel 10 : Data Bilangan Reynold pada Berbagai Kekasaran Permukaan Pipa Uji

No	Bukaan keran	Re (x 10 <sup>4</sup> )						
		Polos	Pasir Halua	Pasir Kasar	Dibintik Lubang	Daun Talas	Batu Bata	Serat Kayu
1	1	3,3949	3,4897	3,6331	3,8565	3,5623	3,7520	3,8221
2	2	4,0675	4,3740	4,3464	4,3860	4,2404	4,6826	4,0869
3	3	4,3164	4,4400	4,5796	4,6774	4,6431	4,6175	4,4312
4	4	4,5171	4,8926	4,7227	4,6743	4,5570	4,5539	4,5376
5	5	4,7595	4,8380	4,7715	4,7723	4,7685	4,6562	4,6177
6	6	4,8315	4,8206	4,8342	5,3239	5,2623	4,9651	4,7881

Tabel 11 : Data Koefisien Gesek pada berbagai Kekasaran Permukaan Pipa Uji

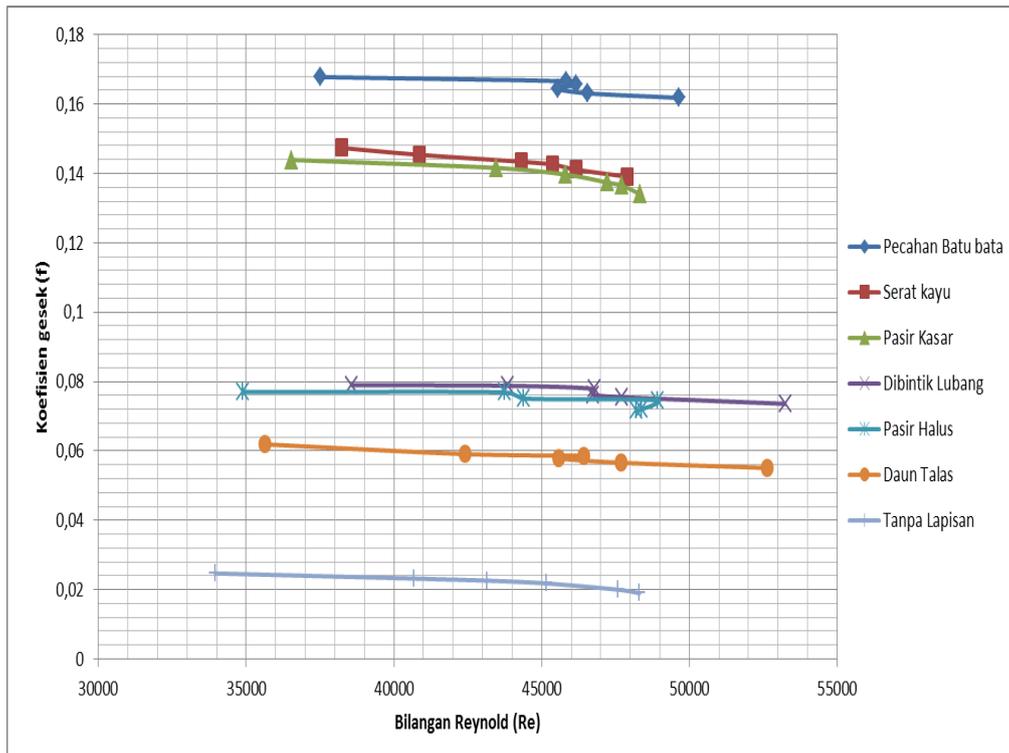
No	Bukaan keran	Koefisien Gesek f						
		Polos	Pasir Halus	Pasir Kasar	Dibintik Lubang	Daun Talas	Batu Bata	Serat Kayu
1	1	0,0247	0,0770	0,1439	0,0790	0,0619	0,1678	0,1674
2	2	0,0232	0,0769	0,1416	0,0788	0,0591	0,1666	0,1454
3	3	0,0226	0,0751	0,1397	0,0779	0,0586	0,1656	0,1434
4	4	0,0218	0,0746	0,1374	0,0762	0,0579	0,1644	0,1426
5	5	0,0200	0,0720	0,1365	0,0755	0,0566	0,1631	0,1411
6	6	0,019	0,0718	0,1340	0,0786	0,0551	0,1618	0,1391
<b>Rata-rata</b>		0,019	0,0744	0,1385	0,0777	0,0582	0,1638	0,1465

5. PEMBAHASAN

Tingkat kekasaran permukaan untuk 7 jenis lapisan permukaan pipa uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Pipa pengujian dengan permukaan dalam tanpa lapisan tambahan (polos),
2. Pipa pengujian dengan permukaan dalam yang dilapisi pasir halus dengan kekasaran nya  $\epsilon/D = 0,2/22 = 0,0091$
3. Pipa pengujian dengan permukaan dalam yang dilapisi pasir kasar dengan kekasaran relatifnya  $\epsilon/D = 1/22 = 0,0454$ .
4. Pipa pengujian dengan permukaan dalam dibintik lubang dengan kekasaran relatifnya  $\epsilon/D = 2/22 = 0,0909$
5. Pipa pengujian dengan permukaan dalam yang dilapisi daun talas dengan kekasaran  $\epsilon/D = 0,1/22 = 0,0045$
6. Pipa pengujian dengan permukaan dalam yang dilapisi pecahan batu bata dengan kekasaran relatifnya  $\epsilon/D = 2,2/22 = 01$ .
7. Pipa pengujian dengan permukaan dalam yang dilapisi serat kayu dengan kekasaran relatifnya  $\epsilon/D = 0,5/22 = 0,0227$ .

Dari data pada Tabel 11 dibuat kurva Nilai koefisien Gesek terhadap Bilangan Reynold dan hasil pengaluran disajikan pada Gambar 5



Gambar 5 : Kurva Koefisien Gesek terhadap Bilangan Reynold pada 7 jenis Kekasaran PipaUji yang Berbeda

Dari Tabel 11 dan Gambar 5 kurva nilai koefisien gesek terhadap bilangan Reynold menunjukkan bahwa pada pengujian dengan lapisan pecahan batubata menghasilkan koefisien gesek yang lebih besar dibanding dengan jenis lapisan yang lain, kemudian dengan lapisan serat kayu, lapisan pasir kasar, dibintik lubang, lapisan pasir halus dan lapisan daun talas. Nilai koefisien gesek rata-rata untuk ke tujuh lapisan sebesar 0,019; 0,0582; 0,0744; 0,0777; 0,1385;

0,1465; 0,1638 masing-masing untuk pipa dengan lapisan daun talas, pasir halus, dibintik lubang, pasir kasar, serat kayu dan pecahan batu bata

Nilai koefisien gesek ( $f$ ) dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida ( $v$ ), panjang pipa ( $L$ ), kerugian head ( $h_f$ ) dan diameter pipa ( $d$ ). Semakin besar diameter, maka semakin besar nilai koefisien gesek. Hal ini terjadi pada permukaan pipa dengan lapisan batubata yang mempunyai diameter yang paling besar dibanding pipa dengan lapisan material lain yaitu sebesar 2,2 mm dengan nilai kekasaran relatifnya  $\epsilon/D = 2,2/22 = 01$ .

Jika dibandingkan dengan pipa tanpa lapisan (polos), jenis lapisan dengan pecahan batubata bata menghasilkan perbedaan nilai koefisien gesek rata-rata sebesar 647,95 % atau 6 kali lebih besar. Posisi kedua dan ketiga yang menghasilkan perbedaan nilai koefisien gesek hampir sama untuk lapisan dengan serta kayu dan lapisan dengan pasir kasar masing-masing sebesar 568, 95 % dan 534,02 % . Pada pipa yang dibintik lubang dengan pipa dilapisi pasir halus juga menghasilkan perbedaan nilai koefisien gesek rata-rata yang hampir sama yaitu masing-masing sebesar 254,80 % dan 239,726 % dan yang terakhir adalah lapisan dengan daun talas menghasilkan perbedaan sebesar 165,75 %.

Pada ke tujuh pipa uji dengan lapisan material yang berbeda menunjukkan kecenderungan nilai koefisien gesek terlihat menurun dengan kenaikan bilangan Reynold. Hal ini menunjukkan bahwa bilangan Reynold dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida ( $v$ ), diameter pipa ( $d$ ). Semakin besar kecepatan aliran fluida, maka nilai Reynold semakin besar pula.

## 6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, bahwa jenis material lapisan pipa mempengaruhi kekasaran pipa. Semakin kasar permukaan pipa, maka nilai koefisien gesek semakin besar. Pada pipa pengujian dengan lapisan batu bata mempunyai nilai kekasaran relatifnya yang paling besar ( $\epsilon$ ) 2,2 mm,  $\epsilon/D = 2,2/22 = 01$ . menghasilkan koefisien gesek yang lebih besar dibandingkan dengan koefisien gesek pada pipa uji dengan lapisan material lainnya, yaitu rata-rata sebesar 0,1638 atau 647,95 % dibandingkan dengan pipa tanpa lapisan. Koefisien gesek menurun seiring dengan kenaikan Bilangan Reynold.

## DAFTAR PUSTAKA

- Antoni, Dachry; 2012; *Efek Kekasaran Pipa Terhadap Koefisien Gesek*, Skripsi Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Depok.
- Arhanudin, 2003; *Efek Kekasaran Permukaan Terhadap Koefisien Gesek Pada pipa Silinder  $\emptyset$  28 mm*, Skripsi Teknik Mesin, Universitas IBA Palembang.
- KangMousir; 2014. *Pengertian dan Definisi fluida*, <http://www.kampusq.com/2012/12/12/fluida-adalah-pengertian-dandefinisi.html?m=1> [Diakses Tanggal: 15 Februari 2018].
- Munson, R. Bruce, dkk, 2002; *Mekanika Fluida*, Erlangga, Jakarta.
- Ruben M, Oison. Dan Steven J. Wright; 1993, *Dasar-dasar Mekanika Flui Teknik*, Edisi Ke-5, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Sularso dan Tahara, Haruo; 2000, *Pompa dan Kompresor*, Jakarta. PT Pradnya Paramita.

Utomo, Agung Aprianto, 2017, *Analisa Aliran Laminer Dan Turbulen Pada Alat Pratikum Fenomena Dasar Dengan Variasi Debit Aliran*, Teknik Mesin Universitas IBA, Palembang

Victor L.Streeter, alih bahasa, E.Benyamin Wylie, 1996; Arko Prijono, *Mekanika Fluida*, Erlangga, Jakarta.