

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. KLASIFIKASI FLUIDA

Fluida dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian, tetapi secara garis besar fluida dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu :

2.1.1 Fluida *Newtonian*

Fluida *Newtonian* adalah suatu jenis fluida yang memiliki kurva *shear stress* dan gradien kecepatan yang linier, yang digolongkan ke dalam fluida ini antara lain : air, udara, ethanol, benzena, dsb. Fluida *Newtonian* akan terus menerus mengalir sekalipun terdapat gaya yang bekerja pada fluida, karena viskositas fluida ini tidak berubah ketika terdapat gaya yang bekerja pada fluida tersebut, viskositas akan berubah jika terjadi perubahan temperatur. Dengan kata lain fluida *Newtonian* adalah fluida yang mengikuti hukum Newton tentang aliran dan dapat dituliskan dengan persamaan berikut ini :

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.1)$$

Dimana :

τ = Tegangan geser pada fluida

μ = Viscositas dinamik fluida

$\frac{\partial u}{\partial y}$ = Gradient kecepatan fluida

2.1.2. Fluida *Non-Newtonian*

Fluida *Non-Newtonian* adalah fluida yang tidak tahan terhadap tegangan geser (*shear stress*), *gradient* kecepatan (*shear rate*) dan temperatur. Dengan kata lain kekentalan (*viscosity*) merupakan fungsi daripada waktu. Fluida *Non-Newtonian* ini tidak mengikuti hukum Newton tentang aliran. Sebagai contoh dari fluida *Non-Newtonian* ini antara lain : cat, minyak pelumas, lumpur, darah, obat-obatan cair, bubuk kertas, dsb.

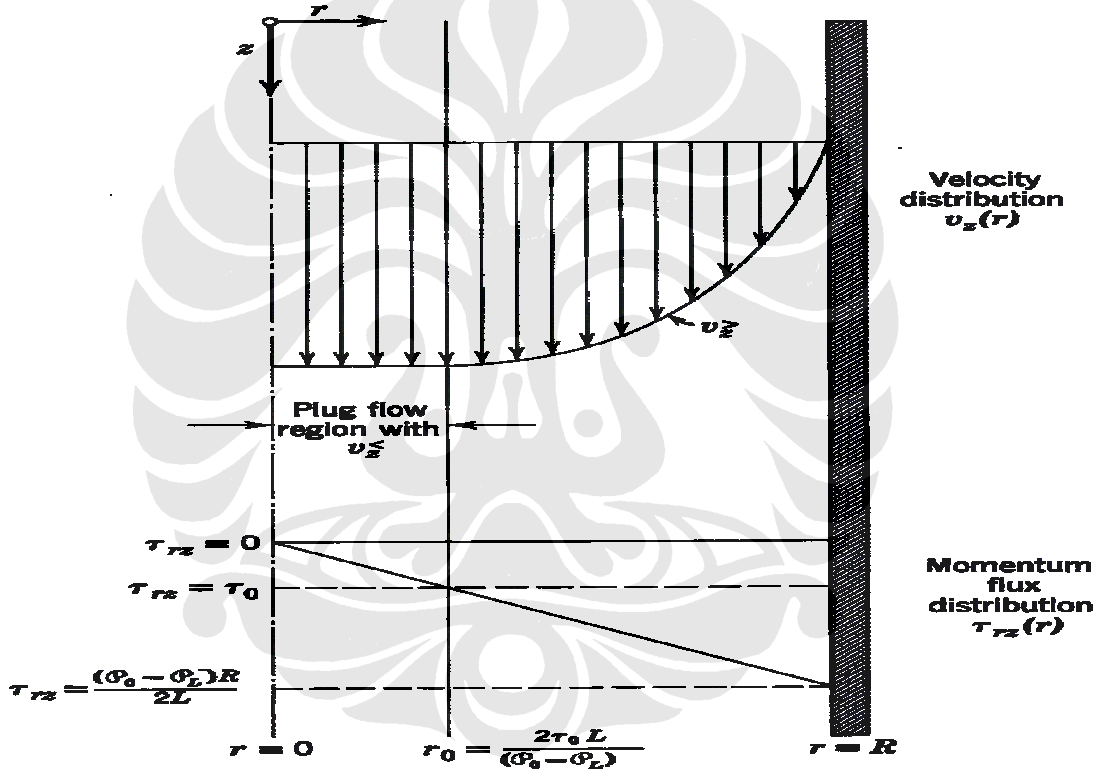
Berikut ini ada beberapa model pendekatan untuk fluida *Non-Newtonian* :

a. *Bingham plastic*

Bingham plastic adalah suatu model pendekatan fluida *Non-Newtonian* dimana viscositasnya akan sangat tergantung pada *shear stress* dari fluida tersebut, dimana semakin lama viscositasnya akan menjadi konstan.

Persamaan untuk model *Bingham pastic* ini ditunjukkan oleh persamaan berikut ini:

$$\tau = \tau_y + \mu_p \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.2)$$



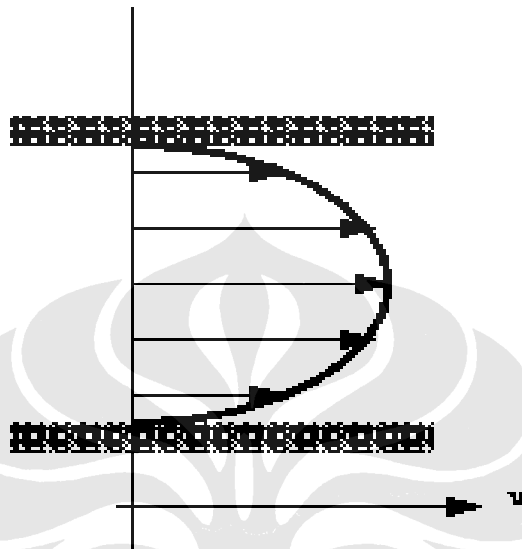
Gambar 2.1. Distribusi Kecepatan *Bingham plastic fluid* pada pipa [1]

b. *Pseudoplastic*

Pseudoplastic adalah suatu model pendekatan fluida *Non-Newtonian* dimana viscositasnya cenderung menurun tetapi *shear stress* dari fluida ini akan semakin meningkat. Contoh fluida ini adalah *vinil acetate/vinylpyrrolidone co-polymer* (PVP/PA).

Persamaan untuk model ini ditunjukkan sebagai berikut ini :

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n < 1 \quad (2.3)$$



Gambar 2.2. Distribusi Kecepatan *pseudoplastis fluid* pada pipa [1]

c. *Dilatant*

Dilatant adalah suatu model pendekatan fluida *Non-Newtonian* dimana viscositas dan *shear stress* dari fluida ini akan cenderung mengalami peningkatan. Contoh dari fluida jenis ini adalah pasta.

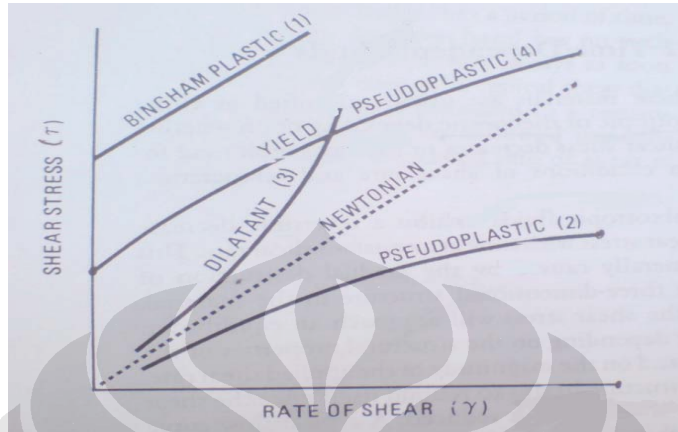
Persamaan untuk model ini ditunjukkan sebagai berikut ini :

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, n > 1 \quad (2.4)$$

Penggolongan lainnya untuk fluida *Non-Newtonian* adalah :

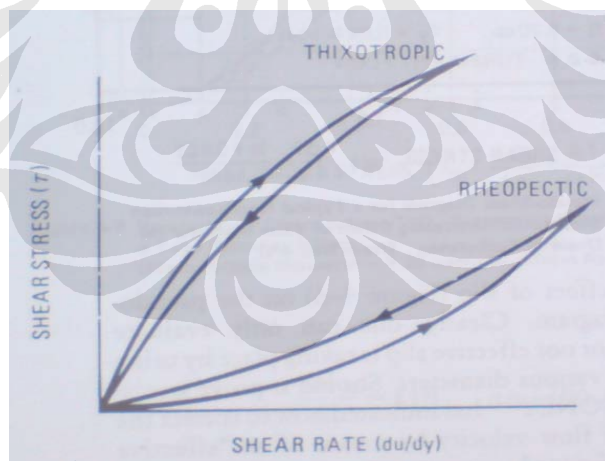
- a. *Thixotropic (shear thinning)*, adalah fluida dimana viscositasnya seolah-olah semakin lama semakin berkurang meskipun laju gesernya tetap. Apabila terdapat gaya yang bekerja pada fluida ini maka viscositasnya akan menurun contoh fluida ini adalah cat, campuran tanah liat (*clay*) dan berbagai jenis gel.
- b. *Rheopectic (shear thickening)*, adalah fluida yang viscositasnya seolah-olah makin lama makin besar. Sebagai contoh adalah minyak pelumas dimana viscositasnya akan bertambah besar saat minyak

pelumas tersebut mengalami guncangan. Dalam hal ini fluida *rheopectic* jika ada suatu gaya yang bekerja padanya maka viscositas fluida ini akan bertambah.



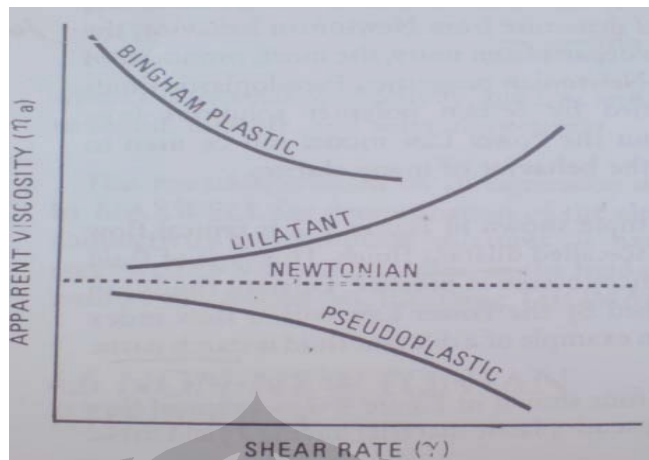
Gambar.2.3 Kurva aliran hubungan antara *shear stress* dan gradien kecepatan [1]

Kurva di bawah ini akan menunjukkan hubungan tegangan geser (*shear stress*) dengan gradien kecepatan (*shear rate*) pada fluida *thixotropic* dan *rheotropic*



Gambar 2.4 Hubungan *shear rate* dan *shear stress* pada *thixotropic* dan *rheopectic* [1]

Apabila dilihat dari hubungan antara fungsi viscositas dan *shear rate* pada fluida *thixotropic* dan *rheotropic*, maka dapat digambarkan pada diagram di bawah ini :



Gambar.2.5 Kurva aliran hubungan antara *apparent viscosity* dan gradien kecepatan [1]

Pada fluida *Non-Newtonian* secara umum hubungan tegangan geser (*shear stress*) dan gradien kecepatan (*shear rate*) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\tau = K \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n = K(\gamma)^n \quad (2.5)$$

Dimana :

- K = Indeks konsistensi
- n = Indeks perilaku aliran (*Power Law Index*)
- $\partial u / \partial y = \gamma$ = Laju aliran
- τ = Tegangan geser

Dengan :

$$\tau = \frac{D\Delta P}{4L} \quad (2.6)$$

$$\gamma = \frac{8V}{D} \quad (2.7)$$

2.1.3. Power Law Index

Dari nilai tegangan geser (*shear stress*) dan laju aliran dari fluida tersebut maka *Power Law Index* (n) dapat diketahui dari persamaan berikut ini :

$$n = \frac{d \ln \frac{D\Delta P}{4L}}{d \ln \frac{8V}{D}}$$

Atau

$$n = \frac{\text{Log} \frac{\tau_1}{\tau_2}}{\text{Log} \frac{\gamma_1}{\gamma_2}} \quad (2.8)$$

Dengan mengetahui besar tegangan geser yang terjadi, profil kecepatan, serta *power law index* (n) maka nilai K (η) juga dapat diketahui yaitu dengan persamaan (2.5). Jika nilai K sudah diketahui maka *Generalized Reynold Number* juga sudah dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Re}^* = \frac{\rho_m D_h^n U^{2-n}}{\mu} \quad (2.9)$$

Dengan $\mu = K 8^{n-1}$

Friction loses (f) dapat diketahui jika nilai tegangan geser, kecepatan aliran dan density fluida kerja sudah diketahui, maka digunakan persamaan *fanning*, persamaannya sebagai berikut :

$$f = \frac{\tau}{\frac{1}{2} \rho_m V^2} \quad (2.10)$$

2.2. ALIRAN FLUIDA

Dalam suatu aliran yang melewati sistem atau instalasi pipa maka terjadi suatu hambatan aliran, hambatan tersebut disebabkan oleh faktor-faktor bentuk instalasi. Hambatan tersebut dapat menyebabkan turunnya energi dari pada fluida tersebut yang sering disebut dengan kerugian tinggi tekanan (*head loss*) atau penurunan tekanan (*pressure drop*). *Head losses* atau *pressure drop* disebabkan oleh pengaruh gesekan fluida (*friction loses*) dan perubahan pola aliran terjadi karena fluida harus mengikuti bentuk dari dindingnya.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan oleh HGL.Hagen (1839) penurunan tekanan berubah secara linier dengan kecepatan sampai kira-kira 0,3 m/s. Namun diatas sekitar 0,66 m/s penurunan tekanan hampir sebanding dengan kecepatan kuadrat kecepatan ($\Delta P \approx V^{1,75}$). Pada tahun 1883 Osborne Reynolds

menunjukkan bahwa penurunan tekanan tergantung pada parameter: kerapatan (ρ), kecepatan (V), diameter (D), dan viscositas absolut (μ) yang selanjutnya dikenal dengan bilangan Reynolds, penurunan tekanan merupakan fungsi dari faktor gesekan (λ) dan kekerasan relatif dari dinding pada (ε/D)[4], jadi :

$$\lambda = f(\text{Re}, \varepsilon/D) \quad (2.11)$$

Menurut Henry Darcy (1857) yang melakukan eksperimen aliran dalam pipa menyatakan kekerasan mempunyai efek sehingga didapatkan faktor gesekan darcy (λ) dengan formulasi :

$$hf = \frac{\lambda \cdot L}{D(V^2/2g)} \quad (2.12)$$

Dari persamaan di atas (2.12) yang disebut dengan formula *Darcy-Weisbach* didapat beberapa bentuk fungsi dari (λ) atau (f).

Persamaan *fanning* umumnya digunakan pada untuk menghitung faktor gesekan dimana zat kimia penyusunnya lebih diperhatikan (untuk fluida lebih dari satu phase). Nilai faktor gesekan *fanning* dapat di konversi ke Darcy dengan persamaan :

$$[f_{\text{darcy}} = 4 \times f_{\text{fanning}}]$$

Pola aliran pada pipa horizontal, ada efek gravitasi dimana fluida yang lebih berat akan berada di bagian bawah, bentuk lain dari pola ini dapat berubah karena efek ini dimana aliran akan terbagi menjadi dua lapisan.

2.3 SIFAT-SIFAT FLUIDA

Ada beberapa sifat-sifat fluida yang perlu diketahui antara lain:

2.3.1 Densitas

Semua fluida memiliki sifat densitas ini, yang dimaksud dengan densitas adalah jumlah zat yang terkandung di dalam suatu unit volume, densitas dapat dinyatakan dalam tiga bentuk yaitu :

1. Densitas massa

Perbandingan jumlah massa dengan jumlah volume. Dapat dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.13)$$

Dimana m adalah massa dan v adalah volume, unit density adalah $\frac{kg}{m^3}$ dan dimensi dari densitas ini adalah ML^{-3} . Harga standarnya pada tekanan $p = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ dan temperatur $T = 288.15 \text{ K}$ untuk air adalah 1000 kg / m^3

2. Berat spesifik

Berat spesifik adalah nilai densitas massa dikalikan dengan gravitasi, dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (2.14)$$

Satuan dari berat spesifik ini adalah $\frac{N}{m^3}$, dan dimensi dari berat spesifik ini adalah $ML^{-3}T^{-2}$ dimana nilai γ air adalah $9.81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$.

3. Densitas relatif

Densitas relatif disebut juga specific gravity (SG) yaitu perbandingan antara densitas massa dengan berat spesifik suatu zat terhadap densitas massa atau berat spesifik dari suatu zat standart, dimana yang dianggap memiliki nilai zat standar adalah air pada temperatur 4^0 C , densitas relatif ini tidak memiliki satuan.

Pada fluida *Non-Newtonian* khususnya *slurry density* dari fluida dapat dinyatakan dalam bentuk C_w yang artinya prosentase konsentrasi padatan yaitu perbandingan prosentase antara padatan dengan air sebagai pelarut. Prosentase tersebut dapat dilihat dari persamaan di bawah ini :

$$C_w = \frac{C_v \rho_s}{C_v \rho_s + (100 - C)} = \frac{C_v \rho_s}{\rho_m} \quad (2.15)$$

2.3.2 Viskositas

Viskositas (kekentalan) adalah sifat fluida yang mendasari diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut. Hukum viskositas Newton

menyatakan bahwa untuk laju aliran maka viskositas berbanding lurus dengan tegangan geser ini berlaku pada *fluida Newtonian*.

Pada dasarnya viskositas ini disebabkan karena kohesi dan pertukaran momentum molekuler diantara lapisan layer fluida pada saat fluida tersebut mengalir. Viskositas fluida ini dipengaruhi oleh banyak hal antara lain temperatur, konsentrasi larutan, bentuk partikel dan sebagainya.

Viskositas dinyatakan dalam dua bentuk, yakni :

1. Viskositas dinamik (μ)

Viskositas dinamik adalah perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besarnya nilai viskositas dinamik tergantung dari faktor-faktor di atas tersebut, untuk viskositas dinamik air pada temperatur standart lingkungan (27°C) adalah $8.6 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s}$

2. Viskositas kinematik

Viskositas kinematik merupakan perbandingan viskositas dinamik terhadap kerapatan (*density*) massa jenis dari fluida tersebut. Viskositas kinematik ini terdapat dalam beberapa penerapan antara lain dalam bilangan Reynolds yang merupakan bilangan tak berdimensi. Nilai viskositas kinematik air pada temperatur standart (27°C) adalah $8.7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Pada fluida Non-Newtonian viskositasnya ditentukan berupa *apparent viscosity* (kekentalan sesaat) karena umumnya fluida *Non-Newtonian* memiliki suatu sifat histerisis hal ini menyebabkan untuk mencari viskositas aslinya sangatlah sulit.

2.3.3 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah bilang tidak berdimensi yang menyatakan perbandingan gaya-gaya inersia terhadap gaya gaya kekentalan (viskos) pada pipa bulat dengan aliran penuh berlaku :

$$\text{Re} = \frac{Vd\rho}{\mu} = \frac{Vd}{\nu} \quad (2.16)$$

Dimana :

V = Kecepatan rata-rata aliran [m/s]

d = Diameter dalam pipa [m]

ν = Viskositas kinematik fluida [m^2/s]

μ = Viskositas dinamik fluida [kg/m.s]

Aliran dalam pipa yang berbentuk lingkaran terbagi menjadi dua bagian yaitu aliran laminar dan aliran turbulenta. Karakteristik kedua aliran tersebut berbeda dari segi kecepatan, debit dan massa jenisnya.

Aliran laminar adalah aliran dimana tidak terjadinya pencampuran antara satu *layer* aliran dengan *layer* yang lain pada suatu fluida saat fluida tersebut dialirkan, oleh karena itu kecepatan aliran ini lambat sehingga kerugian berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Sedangkan aliran turbulenta adalah aliran dimana *layer-layer* batas aliran telah bercampur saat fluida tersebut mengalir, kecepatan aliran ini lebih tinggi dari aliran laminar dan kerugian yang ditimbulkan sebanding dengan kuadrat kecepatan.

Bilangan Reynolds pada fluida *Non-Newtonian* adalah Regeneratif Reynolds (Re^*) hal ini disebabkan karena nilai viskositas dari fluida ini merupakan apparent viscosity atau kekentalan sesaatnya.

2.4 PERSAMAAN-PERSAMAAN FLUIDA

2.4.1 Laju Aliran Volume

Laju aliran volume disebut juga dengan debit aliran (Q) yaitu jumlah volume aliran per satuan waktu. Debit aliran dapat dituliskan dalam persamaan :

$$Q = A.V \quad (2.17)$$

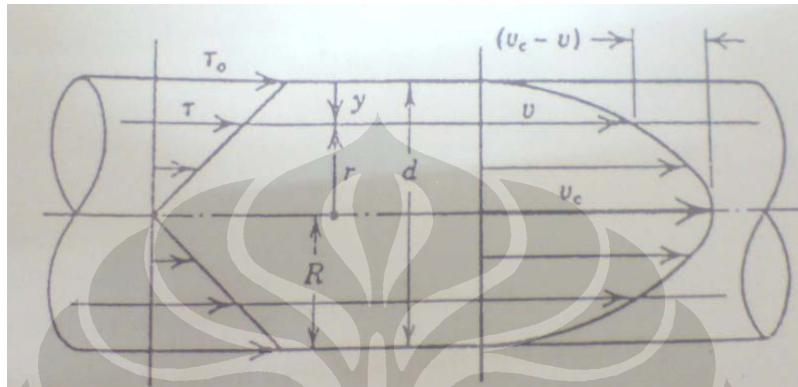
Dimana Q adalah debit aliran dalam satuan m^3/s , A adalah luas penampang pipa dalam satuan m^2 dan V adalah kecepatan aliran dalam satuan m/s. Selain persamaan di atas debit aliran juga dapat di hitung dengan persamaan :

$$Q = \frac{v}{t} \quad (2.18)$$

Dimana Q adalah debit aliran [m^3/s], v adalah volume aliran [m^3] dan t adalah satuan waktu [s].

2.4.2 Distribusi kecepatan

Distribusi kecepatan merupakan distribusi aliran dalam pipa terhadap jarak aliran terhadap permukaan pipa. Distribusi aliran ini berbeda antara aliran laminar dan aliran turbulen. Distribusi aliran digunakan untuk melihat profil aliran kecepatan dalam pipa.



Gambar 2.6 Kecepatan aliran laminar [4]

Untuk aliran laminar maka kecepatan berlaku :

$$V = \frac{1}{2} v_c \quad (2.19)$$

$$v = v_c \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) = v_c \left(1 - \frac{(R-y)^2}{R^2} \right) \quad (2.20)$$

Dimana :

- V = kecepatan rata-rata aliran [m/s]
- v_c = kecepatan aliran pada titik pusat pipa [m/s]
- v = kecepatan aliran dalam jarak r atau y [m/s]
- r = kecepatan aliran v dari titik pusat diameter dalam pipa [m]
- y = jarak kecepatan aliran v dari permukaan dalam pipa [m]
- R = jari-jari pipa [m]

Untuk aliran turbulen, maka berlaku persamaan :

$$\frac{V}{v_c} = \frac{49}{60} \quad (2.21)$$

$$\frac{v}{v_c} = \left(\frac{y}{R} \right)^m \quad (2.22)$$

Dimana :

V = kecepatan rata-rata aliran [m/s]

v_c = kecepatan aliran pada titik pusat pipa [m/s]

v = kecepatan aliran dalam jarak r atau y [m/s]

y = jarak kecepatan aliran v dari permukaan dalam pipa [m]

R = jari-jari pipa [m]

m = $\frac{1}{7}$ untuk Re lebih kecil dari 10^5

