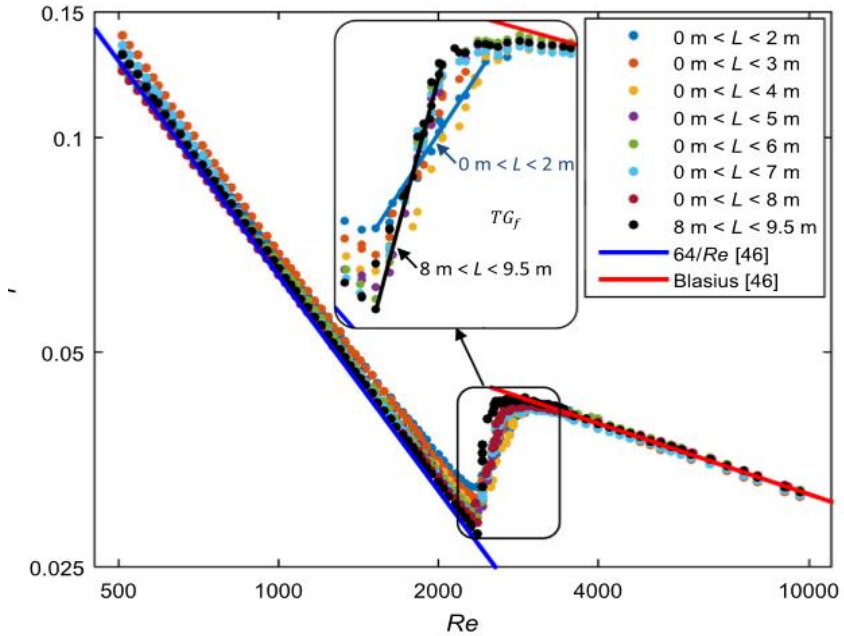
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

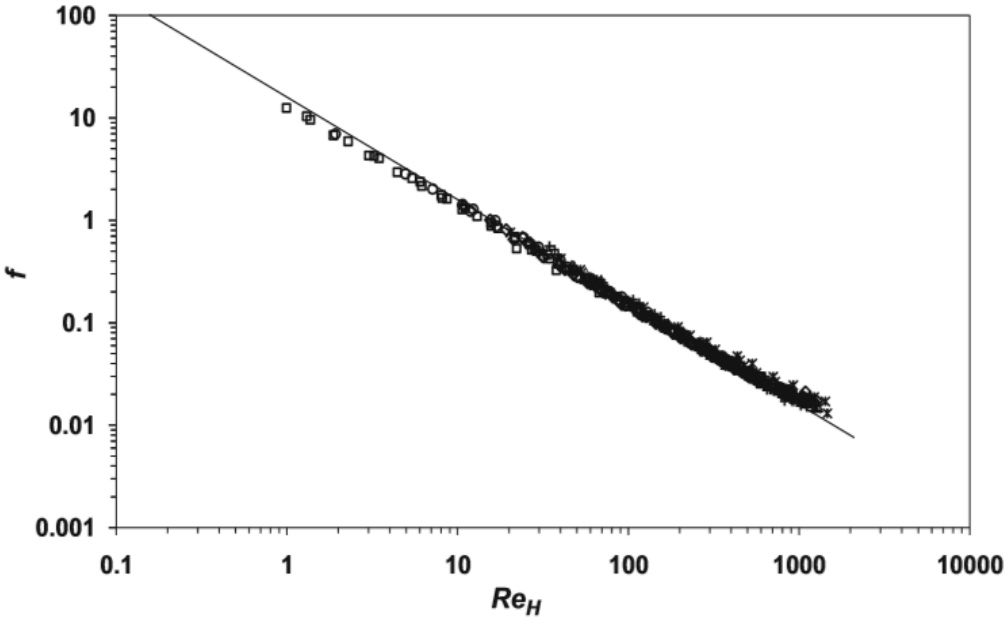
2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang dilakukan sebelumnya tentang *head loss mayor* pada aliran di dalam pipa untuk memprediksi besarnya nilai *head loss mayor*, pada sistem perpipaan. Everts dan Mayer (2018) melakukan penelitian tentang hubungan yang terjadi antara penurunan tekanan dan perpindahan panas yang terjadi pada aliran laminar, transisi, dan turbulen. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan karakteristik fluida dan perpindahan panas yang terjadi pada aliran laminar, transisi, maupun turbulen. Metode yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *Reynolds* antara 500 – 10000, dengan fluks panas yang berbeda-beda, pada penelitian ini juga air digunakan sebagai cairan uji. Pada penelitian ini menggunakan variasi panjang tabung pengujian yaitu 0 m < 2 m, 0 m < 3 m, 0 m < 4 m, 0 m < 5 m, 0 m < 6 m, 0 m < 7 m, 0 m < 8 m, 0 m < 9,5 m. hasil eksperimen seperti gambar 2.1 menunjukan aliran laminar memiliki koefisien gesek (f) yang lebih tinggi diawal. Hasil eksperimen membuktikan bahwa dengan angka *Reynolds* yang berubah semakin besar maka koefisien gesek yang tejadi pada penelitian ini cenderung menurun, mengikuti semakin panjang tabung dapat dilihat pada gambar 2.1. Peneliti menjelaskan terjadinya penurunan akibat faktor gesekan isothermal yang berkembang secara penuh. Persamaan yang digunakan peneliti Everts dan Mayer dapat dilihat di persamaan 2.19.



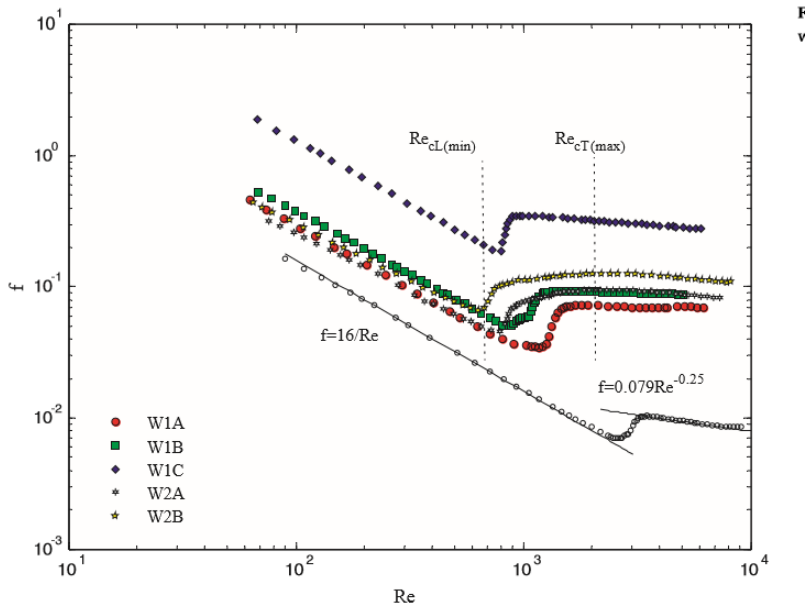
Gambar 2. 1 Grafik hubungan koefisien gesek dengan bilangan *Reynolds* (Everts dan Mayer,2018)

Burger dkk. (2010) melakukan penelitian tentang hubungan aliran laminar dari cairan *non-newtonian* dengan berbagai bentuk penampang. Metode yang dilakukan menggunakan penampang berbentuk segitiga, semi lingkaran, maupun persegi panjang. Pada penelitian ini juga menggunakan fluida yang dikategorikan sebagai fluida *non-newtonian* yaitu bingham plastik. Hasil eksperimen yang dapat dilihat pada gambar 2.2 membuktikan bahwa pengaruh pada bentuk variasi penampang dan fluida yang digunakan tetap menghasilkan nilai koefisien gesek yang menurun seiring dengan kenaikan angka *Reynolds*, dan pada kurva hasil eksperimen sangat mendekati dengan hasil teori yang digunakan. Persamaan yang digunakan peneliti Burger dapat dilihat di persamaan 2.20.



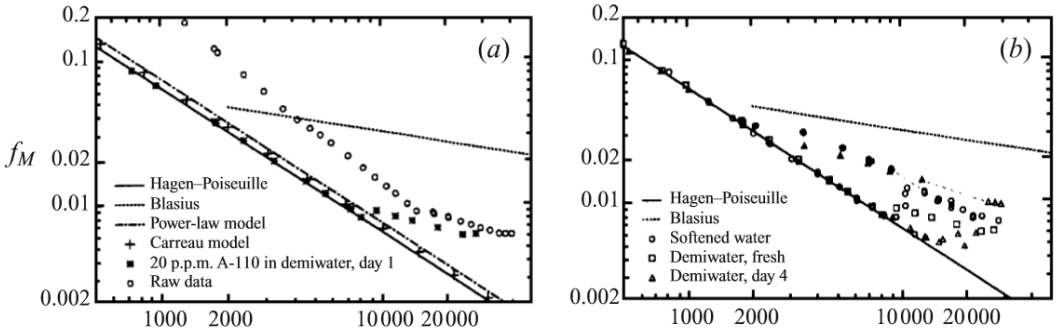
Gambar 2. 2 Grafik hubungan angka *Reynolds* dengan koefisien gesek (Burger dkk, 2010)

Garcia dkk. (2018) melakukan penelitian tentang korelasi eksperimental pada bilangan *Reynolds* kritis dan faktor gesekan pada tabung yang telah disisipkan kawat dan coil pada rezim aliran laminar, transisi, turbulen. Pada proses pengambilan data yang dilakukan penelitian ini menggunakan 23 tipe kawat dan koil yang mempunyai diameter panjang maupun tebal yang berbeda-beda. Pada gambar 2.3 merupakan hasil koefisien gesek dan angka *Reynolds* yang telah disispkan kawat dengan 5 tipe. Pada gambar tersebut terlihat pada aliran laminar koefisien gesek pada titik awal tertinggi dimiliki oleh tipe kawat yang mempunyai tebal yang lebih tinggi. Pada waktu perubahan angka *Reynolds* semakin tinggi, dan aliran laminar mulai berubah menjadi transisi, maka koefisien gesek mulai mengalami penurunan secara signifikan yang terjadi pada seluruh tipe kawat. Hasil eksperimen ini membuktikan bahwa dengan pertamabahan angka *Reynold*s maka hasil koefisien gesek cenderung menurun diseluruh tipe kawat. Persamaan yang digunakan peneliti Garcia dapat dilihat di persamaan 2.20.



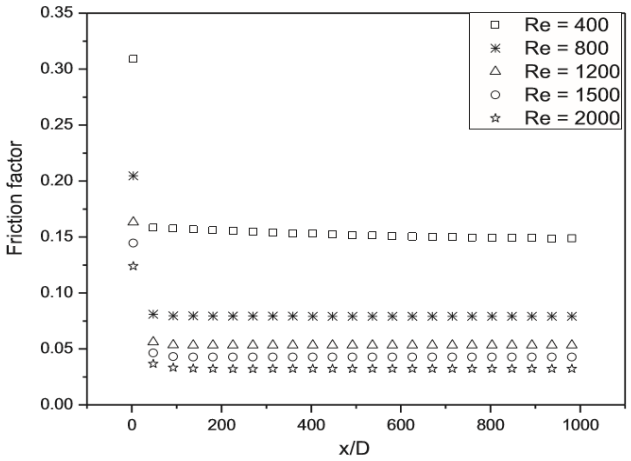
Gambar 2. 3 Grafik hubungan koefisien gesek dengan angka *Reynolds.* (Garcia dkk, 2018)

Draad dkk (1998) melakukan penelitian tentang suatu aliran didalam pipa dengan fase aliran laminar, transisi, turbulen dengan fluida *non-newtonian* dan *newtonian*. Pada proses penelitian dilakukan dengan menggunakan pipa silinder panjang 32 mm dan diameter 40 mm yang akan diberi gangguan dari hisap periodic dan gangguan seperti injeksi cairan yang akan keluar dan celah di keliling pipa. Pada gambar 2.4 dapat dilihat suatu aliran yang diberi gangguan pada fase aliran laminar tetap berada di koefisien gesek tinggi di titik awal angka *Reynolds* terkecil. Pada saat angka *Reynolds* mulai naik menuju daerah fase aliran transisi, maka koefisien gesek yang terjadi mulai mengalami penurunan di setiap variasi percobaan. Persamaan yang digunakan peneliti Draad dapat dilihat di persamaan 2.19.

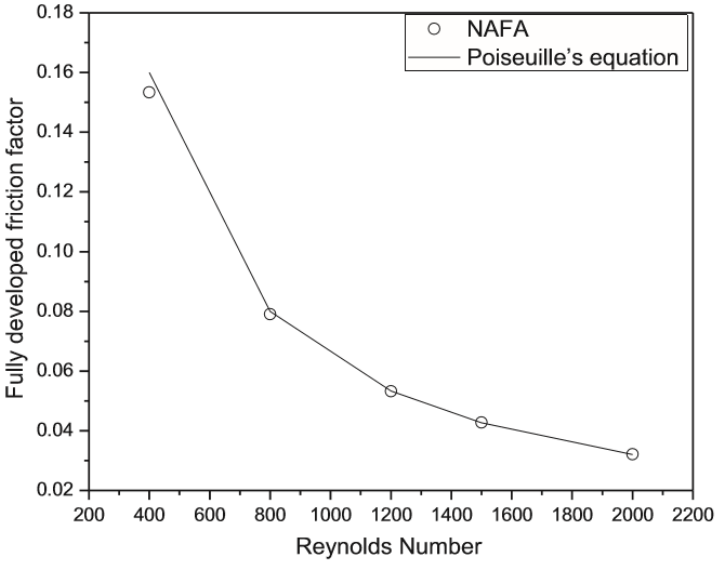


Gambar 2. 4 Grafik hubungan koefisien gesek dengan angka *Reynolds*.
(Draad dkk 1998)

Srivastava dkk (2013) melakukan penelitian tentang karakteristik dan perpindahan panas serta penurunan tekanan yang terjadi pada sebuah pipa melingkar. Proses pengambilan data yang dilakukan menggunakan aplikasi CFD. Pada penelitian ini peneliti menggunakan air garam sebagai fluidanya yang melingkar untuk di berbagai aliran seperti laminar-transisi-dan turbulen. Pada gambar 2.5 pada Re 400 mempunyai titik *friction* faktor yang tinggi pada titik awal, ketika panjang pipa mulai naik maka *friction* faktor mengalami penurunan secara perlahan. Pada gambar 2.6 pada *friction* faktor yang terjadi di persamaan poiseuille yang mempunyai titik awal *friction* faktor lebih tinggi daripada *friction* faktor yang dikembangkan secara penuh. Pada saat kenaikan angka *Reynolds* kedua variasi tersebut cenderung mengalami penurunan pada *friction* faktor. Persamaan yang digunakan peneliti Srivastava dapat dilihat pada persamaan 2.19.



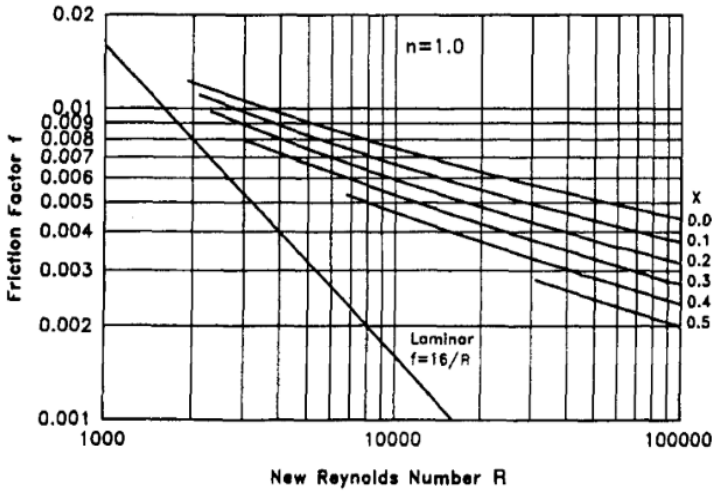
Gambar 2. 5 Grafik friction faktor terhadap panjang pipa dengan variasi *Reynold*s. (Srivastava dkk., 2013)



Gambar 2. 6 Grafik hubungan koefesien gesek dengan angka *Reynolds*. (Srivastava dkk., 2013)

Chilton dan Stainsby (1998), melakukan penelitian tentang rugi tekanan untuk pipa laminar dan turbulen pada kondisi fluida *non-newtonian*. Pada penelitian ini metode pengambilan data dengan variasi kadungan cairan bingham yang termasuk

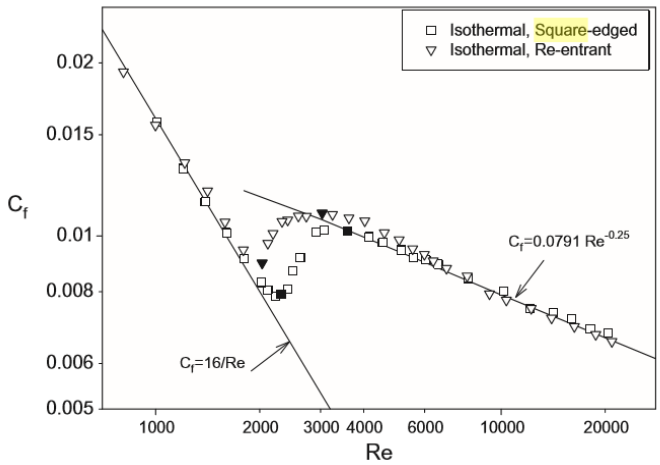
jenis cairan *non-newtonian*. Hasil dari eksperimen yang dilakukan penelitian ini dapat dilihat di gambar 2.7 bahwa dengan nilai x pada fluida *non-newtonian* yang lebih besar maka koefisien gesek yang dimiliki semakin kecil dan ketika angka *Reynolds* semakin besar maka koefisien gesek yang terjadi menggunakan fluida non-newtonian akan cenderung mengalami penurunan. Persamaan yang digunakan peneliti Chilton dan Stainsby dapat dilihat pada persamaan 2.20.



Gambar 2. 7 Grafik hubungan angka *Reynolds* dengan koefisien gesek.
(Chilton and Stainsby 1998)

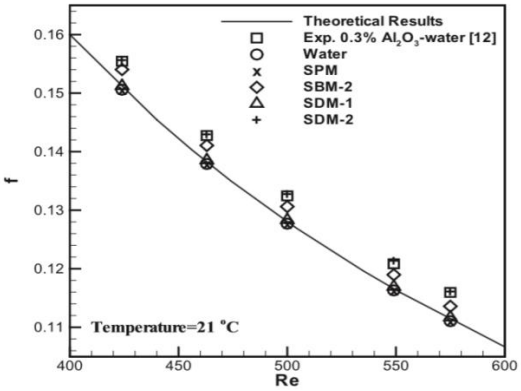
Tam dkk, (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh bentuk geometri pada inlet serta pemanasan yang terjadi di sisi masuk dan faktor gesekan yang dikembangkan secara penuh pada daerah khusus laminar dan transisi. Metode penelitian yang dilakukan dengan menggunakan tabung lurus melingkar dengan diameter 1,48 cm. Pada lubang sisi masuk atau inlet berbentuk persegi dan sisi inlet yang langsung kembali atau re-entrant dengan menggunakan variasi kondisi isothermal dan non isothermal. Pada penelitian ini cairan yang digunakan berasal dari etilena glikol dan air sebagai fluidanya. Hasil eksperimen dapat dilihat pada gambar 2.8 membuktikan bahwa pada koefisen gesek kondisi isothermal di aliran laminar yang terjadi pada sisi inlet re-entrant atau sisi inlet yang langsung kembali memiliki

koefisien gesek lebih tinggi daripada inlet dengan berbentuk persegi. Hasil ini membuktikan bahwa dengan bentuk sisi masuk yang berbeda maka koefisien gesek cenderung mengalami penurunan. Persamaan yang digunakan peneliti Tam dkk dapat dilihat pada persamaan 2.20.



Gambar 2. 8 Grafik hubungan koefisien gesek dengan angka *Reynolds*.
(Tam dkk 2013)

Heshmati dan Erturk (2016) melakukan penelitian tentang model fasa tunggal untuk meningkatkan faktor gesekan yang terjadi pada aliran laminar yang berada di dalam pipa. Metode yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan berbagai macam variasi, ada empat macam model fasa tunggal yaitu single-phase homogeneus model (SPM), single-phase Brownian model (SBM), dan single-phase dispersion model (SDM). Fluida yang digunakan pada penelitian ini berasal dari air, eksperimen campuran antara 0,3% AL_2O_3 dan juga secara teori. Pada penelitian ini membuktikan bahwa semakin besar angka *Reynold*s dengan berbagai macam variasi maka nilai koefisien gesek yang dihasilkan cenderung menurun dapat dilihat pada gambar 2.9. Persamaan yang digunakan peneliti Heshmati dan Erturk dapat dilihat di persamaan 2.19.



Gambar 2. 9 Grafik hungan koefesien gesek dengan angka *Reynolds*.
(Heshmati dan Erturk, 2016)

Tinjauan pustaka yang sudah diuraikan dapat diketahui bahwa dengan adanya kenaikan angka *Reynolds* maka pada aliran laminar yang terjadi koefisien gesek mengalami penurunan yang dapat dijelaskan bahwa kenaikan pada angka *Reynolds* sangat mempengaruhi nilai koefisien gesek itu sendiri. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Everts dan Mayer (2018), Burger dkk, (2010), Garcia dkk (2018), Draad dkk., (1998), Srivastava (2013), Chilton and Stainsby., (1998), Tam dkk (2012), Heshmati dan Erturk (2016) terlihat bahwa koefisien gesek yang diperoleh cenderung selalu mengalami penurunan ketika angka *Reynolds* mulai naik di semua variasi percobaan maupun kondisi yang terjadi pada saat penelitian. Pada tinjauan pustaka yang saya buat dapat disimpulkan penelitian cenderung menggunakan tabung sebagai penelitian mereka dan fluida yang digunakan cenderung fluida yang dicapur zat kimia lainnya. Pada penelitian ini digunakan pipa PVC ½" yang mudah didapat dengan air sebagai fluidanya tanpa campuran zat kimia lainnya dan pada penelitian ini menggunakan variasi debit aliran yang disesuaikan dengan aliran laminar. Penelitian yang dilakukan ini debit aliran aliran yang keluar akan diatur oleh 2 *gate valve*, *gate valve* ke-1 untuk mengatur aliran yang masuk dan untuk *gate valve* yang ke-2 untuk mengatur pembuangan yang berlebih di pompa untuk disalurkan kembali kedalam wadah air.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Definisi Fluida

Fluida merupakan zat yang tidak mampu menahan terjadinya perubahan bentuk. Tegangan geser yang terjadi sangat bergantung pada laju aliran maupun *viskositas* fluida yang digunakan. Fluida cair sangat mudah mengalir dibandingkan dengan fluida zat padat. Fluida merupakan suatu susunan atas molekul-molekul yang mempunyai jarak pisah yang cukup jauh terhadap gas, dan mempunyai jarak yang cukup dekat terhadap zat cair. Zat cair yang terletak berbatasan dengan dinding batas akan mempunyai kecepatan nol sedangkan zat cair yang terletak jauh dari dinding batas akan bergerak. Pada suatu aliran pasti akan terjadi perubahan kecepatan karena tersebut merupakan fungsi dari jarak antara dinding batas. Fluida digolongkan menjadi beberapa jenis yaitu fluida yang tidak terlalu besar pengaruhnya oleh tekanan atau *incompressible* misalnya zat cair. Sedangkan fluida yang sangat sensitif akibat perubahan tekanan maka fluida tersebut merupakan golongan fluida *compressible* misalnya gas.

2.2.2 Sifat Fluida

Semua fluida nyata (gas dan zat cair) memiliki sifat-sifat khusus yang dapat diketahui, antara lain: rapat massa (*density*), kekentalan (*viscosity*), Tekanan dan sebagainya. Beberapa sifat fluida pada kenyataannya merupakan kombinasi dari sifat-sifat fluida lainnya. Sebagai contoh kekentalan kinematik melibatkan kekentalan dinamik dan rapat massa.

2.2.2.1 *Density*

Density atau kerapatan merupakan sebuah persamaan dilambangkan ρ (rho) atau juga dapat diartikan suatu perbandingan massa per satuan volume. Persamaan tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.1 berikut :

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{kg}{m^3}\right] \quad \text{.....(2.1)}$$

Keterangan :

$\rho = Kerapatan$ (kg/m^3)

m = massa (kg)

V = Volume (m^3)

Pada dasarnya suatu bahan murni pasti memiliki sifat karakteristik seperti contoh emas murni walaupun memiliki ukuran yang berbeda-beda tetapi nilai kerapatannya akan sama di setiap ukuran. Satuan SI dari kerapatan adalah Kg/m^3, selain itu kerapatan terkadang juga menggunakan satuan g/m^3 = 1000 g/(100 cm^3), sehingga nilai kerapatan air pada suhu 20^0C adalah 0,988 g/m^3 = 988 Kg/m^3.

2.2.2.2 Tekanan atau *Pressure*

Pada dasarnya tekanan atau *pressure* merupakan suatu cara untuk mengukur suatu kekuatan dari sesuatu cairan atau gas. Tekanan atau *pressure* dapat dikaitkan dengan suatu satuan yaitu volume atau suhu. Apabila tekanan semakin tinggi di suatu tempat dengan volume yang sama maka yang terjadi suhu semakin tinggi. Satuan Internasional (SI) untuk tekanan adalah Pascal (Pa), pascal ini sama dengan newton per meter persegi (N/m^2) Rumus dari tekanan atau *Pressure* dapat ditunjukan pada persamaan 2.2 berikut :

$$P = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{A}} \left[\frac{\mathrm{N}}{m^2}\right] \quad (2.2)$$

Keterangan :

P = Tekanan (N/m^2)

F = Gaya (N)

A = Luas Permukaan (m^2)

2.2.2.3 Kekentalan atau viskositas

Kekentalan atau viskositas merupakan suatu proses pengukuran dari ketahanan fluida yang dapat diubah dengan sangat baik dari tekanan maupun dari tegangan. Kekentalan atau viskositas merupakan suatu ketebalan atau pergesekan *internal* jadi pada fluida air terjadi pegesekan atau kekentalan yang lebih rendah. Fluida yang

memiliki ketahanan dari tekanan oleh karena itu disebut dengan kental, tetapi fluida yang tidak memiliki ketahanan tekanan dan tegangan disebut fluida ideal. Suatu viskositas atau kekentalan yang terjadi pada suatu fluida cair dapat disebabkan karena suatu gaya kohesif yang dapat terjadi pada molekul-molekul. Suatu fluida gas juga dapat terjadi kekentalan Karena tumbukan yang terjadi pada molekul-molekul. Pada rumus Koefisien viskositas memiliki satuan SI yaitu N/$m^2.s$ atau Pa.s.

Terdapat dua jenis viskositas yaitu :

a. Viskositas Kinematik

Viskositas ini merupakan suatu perbandingan viskositas mutlak dengan rapat jenis (*Density*). Rumus yang digunakan pada jenis viskositas kinematik dapat dilihat pada persamaan 2.3 berikut :

$$\upsilon = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{.....(2.3)}$$

Keterangan :

μ = Nilai Viskositas mutlak (Kg/m.s)

ρ = Nilai kerapatan massa fluida (Kg/m^3)

b. Viskositas dinamik atau viskositas mutlak

Viskositas ini merupakan viskositas yang memiliki nilai sama dengan hukum newton. Pada dasarnya rumus yang digunakan pada viskositas dinamik dapat dilihat pada persamaan 2.4 berikut :

$$\mu = \frac{\tau}{du/dz} \quad \text{.....(2.4)}$$

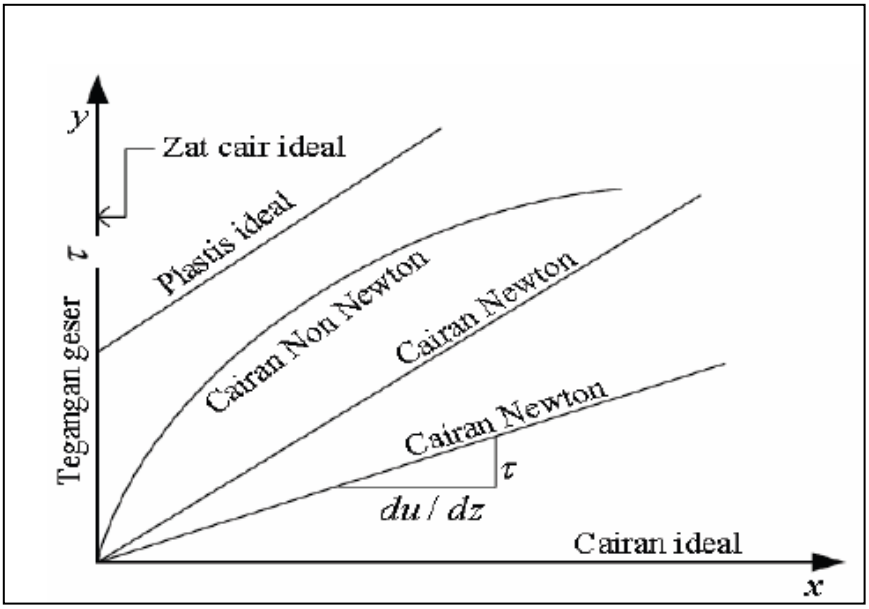
Keterangan :

τ = Tegangan geser pada fluida (Pa)

du/dz = *Gradient* kecepatan ($\frac{m/dt}{m}$)

Suatu fluida yang digolongkan dalam jenis fluida Newtonian maupun non-newtonian adalah jenis fluida yang mana tegangan geser berbanding lurus linier dengan gradient kecepatan pada arah yang berada tegak lurus pada bidang geser. Sehingga fluida Newtonian merupakan fluida yang bergerak terus atau mengalir terus tanpa adanya

pengaruh dari gaya-gaya yang bekerja pada fluida tersebut. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Diagram Rheologi (Helmizar, 2010)

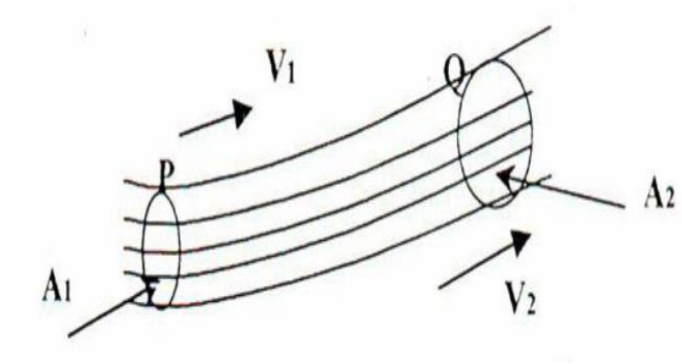
Viskositas yang berlaku pada fluida Newtonian berdasarkan pada tekanan dan temperatur tidak terpengaruh pada gaya-gaya yang terjadi pada fluida. Fluida Newtonian mempunyai sesuatu hal yang unik fluida ini akan terus mengalir meskipun terdapat gaya yang bekerja, dikarenakan viskositas atau kekentalan tidak berubah meskipun terdapat gaya. Viskositas dari fluida Newtonian hanya akan terpengaruh oleh tekanan dan temperatur. Sedangkan fluida non-newtonian berbanding terbalik, di mana fluida jenis ini memiliki viskositas atau kekentalan yang berubah-ubah ketika mendapat gaya yang bekerja pada fluida tersebut.

2.2.3 Persamaan Dasar Aliran Fluida

a. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas merupakan suatu persamaan yang menghubungkan antara suatu kecepatan fluida dari suatu tempat ke tempat lain. Suatu pergerakan aliran

fluida yang terjadi di dalam tabung akan bergerak sejajar meskipun aliran fluida memiliki kecepatan dari satu titik ke titik yang lain berbeda. Persamaan kontinuitas ditunjukan pada persamaan 2.5 dan gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Persamaan kontinuitas yang terjadi didalam tabung.
(Wibowo, 2013)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$(\rho \,.\, A.\, v)_1 = (\rho \,.\, A.\, v)_2 \quad \text{.....} \quad (2.5)$$

Keterangan :

A_1 = luas penampang 1 (m_2)

A_2 = luas penampang 2 (m^2)

v_1 = kecepatan fluida 1 (m/s)

v_2 = kecepatan fluida 2 (m/s)

ρ_1 = rapat massa fluida 1 (kg/m^3)

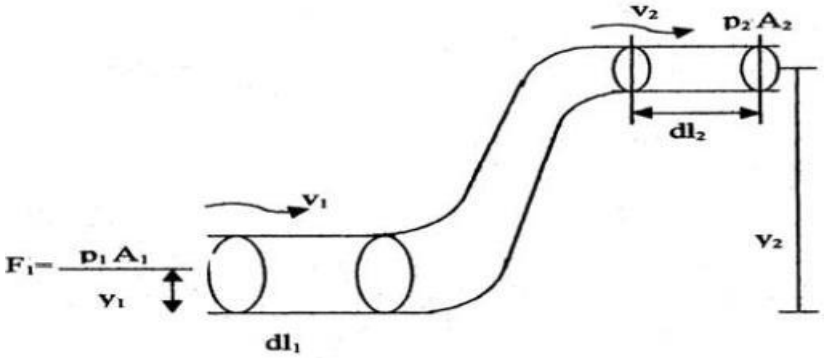
ρ_2 = rapat massa fluida 2 (kg/m^3)

b. Persamaan Bernoulli

Pada suatu mekanika fluida terdapat beberapa pernyataan dalam persamaan bernouli yaitu kecepatan pada suatu aliran fluida akan sangat berpengaruh pada suatu tekanan. Kecepatan aliran fluida yang terjadi di dalam pipa apabila meningkat maka tekanan yang terjadi di dalam pipa akan menurun, persamaan ini disebut juga dengan persamaan bernoulli. Persamaan bernoulli juga membuat pernyataan bahwa pada aliran yang tertutup atau aliran yang berada di dalam pipa jumlah energi yang terjadi

pada setiap titik yang berbeda akan memiliki besaran energi yang sama apabila aliran tersebut mengalir pada lintasan yang sama.

Pada persamaan bernoulli terdapat dua bentuk yaitu aliran untuk yang Tak Termampatkan *(Incompressible Flow)* dan persamaan yang digunakan pada fluida yang termampatkan *(Compressible Flow)* bentuk persamaan energi (head) terdiri dari kecepatan aliran (v), tekanan (p) dan ketinggian (h) yang mana fluida yang bergerak di dalam pipa merupakan fluida tidak kental atau *incompressible*. Aliran fluida yang mengalir pada ketinggian yang berbeda dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Perbedaan ketinggian pada tabung aliran fluida.
(Helmizar, 2010)

Ketinggian merupakan faktor dari yang menentukan besarnya energi potensial yang akan diperlukan untuk mengalirkan dari ketinggian tertentu. Sedangkan kecepatan merupakan faktor yang menentukan besar kecilnya energi kinetik yang diperlukan dari ketinggian tertentu. Jika permukaan yang ada pada penampang pipa tidak sempurna maka akan muncul gesekan antara permukaan pipa dengan fluida yang sedang mengalir melewatinya sehingga persamaan yang digunakan seperti pada persamaan 2.6 dan apabila yang digunakan merupakan pipa lurus maka yang digunakan merupakan persamaan 2.7 seperti :

$$\frac{P_1}{\rho.g} + \frac{\bar{v}1^2}{2.g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho.g} + \frac{\bar{v}2^2}{2.g} + z_2 + \mathrm{hl} \quad \text{..... (2.6)}$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho.g} = \frac{\Delta p}{\rho.g} = h_l \quad \text{.....(2.7)}$$

Keterangan :

P = tekanan fluida (N/m^2),

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3),

G = percepatan gravitasi (m/s^2),

v = kecepatan fluida (m/s),

z = elevasi (m),

hl = Head loss (m)

γ = berat jenis fluida (N/m^3).

2.2.4 Karakteristik dan jenis fluida

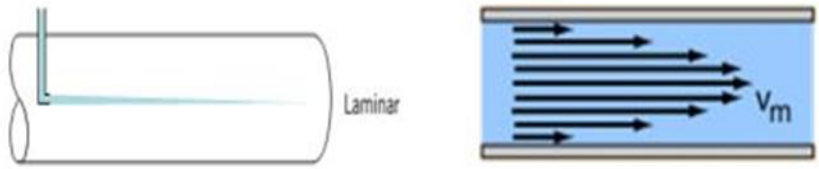
Pada sistem perpipaan profil aliran merupakan suatu proses dimana terjadi di dalam pipa yang akan sangat berhubungan dengan suatu karakteristik fluida ataupun berhubungan dengan jenis fluida. Pada profil aliran yang terjadi di dalam pipa sangat berhubungan atau sangat berpengaruh terhadap gaya gesek yang terjadi antara fluida dengan lapisan fluida, atau antara suatu lapisan fluida dengan dinding pipa, sehingga fluida tersebut dapat mengalir.

Aliran fluida dibagi menjadi beberapa jenis yang di bedakan berdasarkan sifat dari gerakan suatu fluida yaitu *uniform flow, non-uniform flow, stedy flow, dan non stedy flow*. Pada suatu aliran fluida yang dapat dikatakan sebagai aliran *uniform flow* adalah vektor-vektor kecepatan yang berada di dalam suatu aliran fluida selalu sama pada semua titik. Vektor-vektor kecepatan pada aliran fluida yang selalu berubah-ubah pada semua titik yang terdapat pada lintasan aliran fluida. Pada suatu aliran fluida ada yang namanya aliran *stedy flow*, aliran ini merupakan aliran yang terjadi apabila kecepatan aliran yang tidak terpengaruh oleh suatu waktu sehingga suatu fluida mempunyai kecepatan yang tetap atau yang sama. Sedangkan aliran *non stedy flow* merupakan aliran fluida yang terpengaruh oleh waktu sehingga aliran fluida yang terjadi dalam pipa dapat berubah-ubah pada semua titik yang terdapat pada lintasan aliran fluida.

Jenis-jenis fluida juga dapat dibedakan berdasarkan kemampuan suatu fluida menahan tekanan yaitu fluida *incompressible* dan fluida *compressible*. Fluida *incompressible* (tidak termampatkan) merupakan fluida yang pada dasarnya tidak bisa di kompresi sehingga ρ atau massa jenis dari suatu fluida konstan atau tetap tidak mengalami perubahan. Fluida *compressible* merupakan fluida yang dapat di kompresi atau volume fluida tersebut dapat di tekan sehingga dapat menjadi lebih kecil dan ρ menjadi tidak konstan. Jenis aliran dibagi menjadi 3 macam yaitu aliran laminar, transisi, dan turbulen.

2.2.4.1 Aliran Laminar

Aliran laminar merupakan pola aliran yang akan bergerak secara lurus atau lancar tanpa adanya hambatan. Pada aliran laminar gaya *viskos* masih mampu meredam terjadinya gerakan relatif pada lapisan fluida yang saling berdekatan. Pada aliran laminar memiliki bilangan Reynolds kurang dari 2300 (Re < 2300). Ilustrasi aliran laminar seperti gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Gambar Aliran Laminar
(Helmizar, 2010)

2.2.4.2 Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran fluida yang terjadi sesudah aliran laminar dan sebelum masuk proses aliran turbulen, jadi aliran transisi ini berada diantara aliran laminar dan turbulen. Pada aliran transisi ini juga memiliki batasan angka *Reynolds* yaitu berada diantara 2300 sampai dengan 4000 (2300 < Re < 4000). Ilustrasi pada aliran laminar dapat dilihat seperti gambar 2.14.

Gambar 2. 14 Gambar Aliran Transisi
(Helmizar, 2010)

2.2.4.3 Aliran Turbulen

Aliran turbulen merupakan aliran dimana besar dan arahnya berbeda sehingga membuat aliran bergerak sangat tidak teratur. Viskositas dari aliran turbulen sudah tidak mampu menahan gerak relative yang terjadi antar lapisan fluida. Angka *Reynold*s yang terjadi pada aliran turbulen lebih besar dari 4000 (Re >4000). Ilustrasi aliran turbulen juga dapat dilihat pada gambar 2.15.

Gambar 2. 15 Gambar Aliran Turbulen
(Helmizar, 2010)

Pada gambar 2.16 dibawah ini merupakan contoh gambar ilustrasi yang terjadi pada aliran diatas plat.

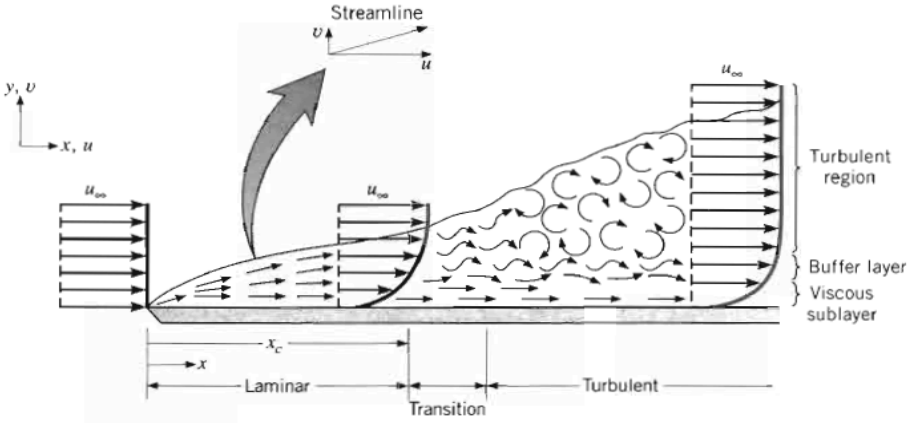


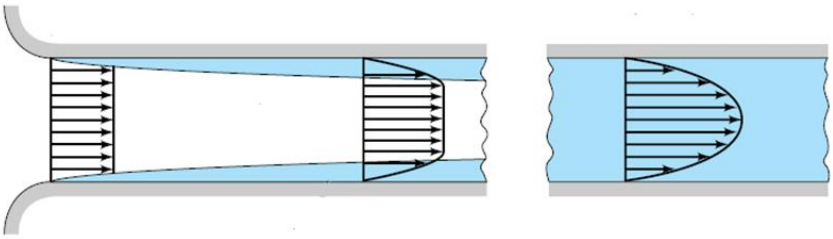
FIGURE 6.6 Velocity boundary layer development on a flat plate.

Gambar 2. 16 Proses perkembangan aliran yang terjadi diatas plat.
(Tyasdrastiana, 2015)

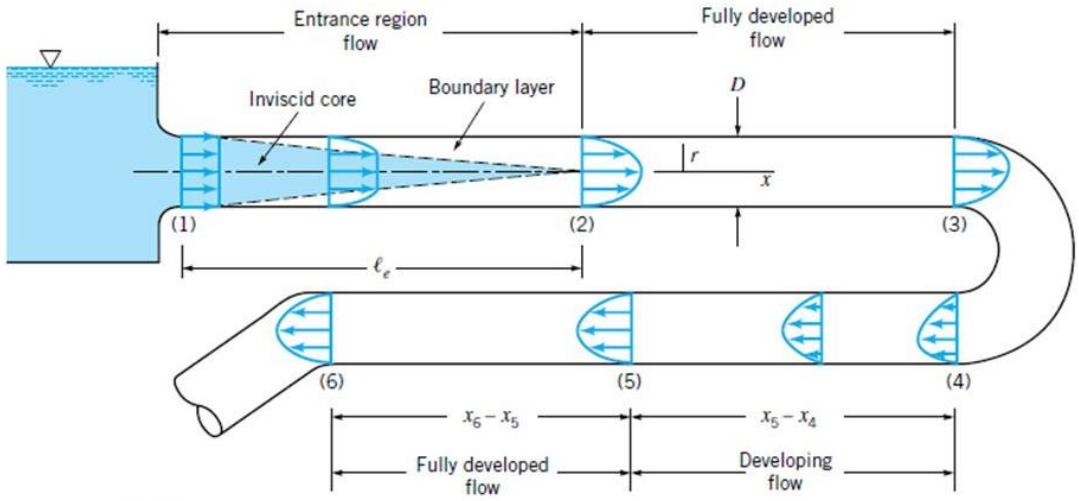
Pada gambar diatas terlihat bahwa kecepatan fluida yang terjadi di dalam pipa memiliki bentuk yang sangat tidak teratur. Faktor panjang lintasan juga sangat bepengaruh terhadap berkembangnya suatu aliran yang dilewati. Aliran yang telah berkembang maka distribusi kecepatan yang terjadi akan selalu sama.

2.2.5 Daerah Masuk dan Aliran Berkembang Penuh

Daerah masuk dalam suatu aliran fluida merupakan titik awal masuknya fluida pada sistem perpipaan yang disebut dengan daerah masuk atau (*entrance region*). Fluida akan memasuki pipa dengan kecepatan seragam maka fluida tersebut akan mengalir yang mana efek dari viskositas fluida tersebut akan menyebabkan fluida menempel pada dinding pipa seperti gambar 2.17. peristiwa ini berlaku pada fluida cair yang memiliki *viskositas* tinggi maupun terhadap fluida gas yang memiliki *viskositas* relative invisid. Suatu profil kecepatan awal akan berubah dengan panjang atau jarak tertentu sehingga fluida akan sampai pada batas akhir daerah masuk seperti pada gambar 2.18 yang berada pada no 2. Lapisan batas yang terjadi akan terus menenbal sehingga memenuhi pipa secara keseluruhan. Efek viskos yang terjadi dapat diabaikan apabila fluida berada pada luar lapisan batas atau berada pada inti inviscid core. Bentuk suatu profil kecepatan sangat bergantung pada jenis pola aliran yaitu aliran laminar, transisi, maupun, turbulen.



Gambar 2. 17 Aliran daerah masuk dan berkembang penuh (Farullah Hasby 2013)



Gambar 2. 18 proses daerah masuk aliran berkembang dan aliran berkembang penuh (Handirizki 2012)

2.2.5 Angka *Reynolds*

Pada suatu jenis aliran fluida dapat diketahui angka *Reynolds* (Re). Pada dasarnya angka *Reynolds* ini digunakan untuk mengidentifikasikan suatu aliran yang berbeda, antara lain aliran laminar, transisi, dan turbulen. Sehingga persamaan angka *Reynolds* ini dapat dilihat pada persamaan 2.8.

$$Re = \frac{\rho \cdot D_{pipa} \cdot v}{\mu} \quad \text{.....(2.8)}$$

Keterangan :

v = Kecepatan Fluida (m/s)

D_{pipa} = Diameter Dalam pipa (m)

ρ = Massa Jenis Fluida (kg/m^3)

μ = *Viskositas* Dinamik Fluida (N.s/m^2)

Dengan menggunakan persamaan pada 2.7 diatas dapat diidentifikasikan apakah merupakan aliran laminar, transisi, dan turbulen. Aliran laminar mempunyai *Reynolds* kurang dari 2300, aliran transisi bilangan Re antara 2300-4000, biasa disebut juga bilangan Re kritis, sedangkan turbulen berada lebih dari 4000.

2.2.6 Debit Aliran (Q)

Debit aliran merupakan suatu volume fluida yang mengalir pada suatu sistem perpipaan yang memiliki satuan waktu. Persamaan yang dimiliki untuk menentukan debit aliran dapat dilihat pada persamaan 2.9.

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot D_{Pipa}{}^{2} \cdot v \qquad (2.9)$$

2.2.7 Kecepatan Aliran Fluida (v)

Kecepatan aliran fluida merupakan laju aliran fluida yang melewati suatu sistem perpipaan yang dapat di pengaruhi oleh suatu luas penampang dari lubang pipa, dapat di pengaruhi oleh material dari suatu bahan seperti tingkat kekasaran suatu bahan dari pipa, maupun tingkat ketebalannya. Persamaan dari kecepatan dapat dilihat pada persamaan 2.10.

$$v = \frac{Re \cdot \mu}{\rho \cdot D} = \frac{Q}{A} \qquad (2.10)$$

Keterangan :

Q	= Debit Aliran (m^3/s)
v	= Kecepatan Fluida (m/s)
D	= Diameter Dalam Pipa (m)
ρ	= Massa Jenis Fluida (kg/m^3)
Re	= Angka *Reynolds*
μ	= *Viskositas* Dinamik Fluida (kg/m.s) atau (N.s/m^2)
A	= Luas Penampang (m^2)

2.2.8 Sistem Perpipaan

Pipa merupakan suatu alat atau media pemindah fluida tertutup yang pada umumnya berbentuk lingkaran dengan diameter berbeda-beda. Pipa dapat digunakan untuk memindahkan fluida cair maupun gas dan yang memiliki viskositas tinggi maupun rendah. Aliran fluida juga memiliki kekentalan sering disebut dengan aliran viskos. Pada aliran viskos terjadi pada temperatur suhu tertentu dan *viskositas* atau

kekentalan akan menimbulkan tegangan geser sehingga berdampak juga pada perubahan sebagian energi aliran. *Viskositas* kinematik pada fluida fasa cair dalam tekanan atmosfer dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Tabel properties air jenuh (Cengel 2003)

854
APPENDIX 1

TABLE A–9

Properties of saturated water

Temp. T, °C	Saturation Pressure P_{sat}, kPa	Density ρ, kg/m³ Liquid	Density ρ, kg/m³ Vapor	Enthalpy of Vaporization h_{fg}, kJ/kg	Specific Heat c_p, J/kg · K Liquid	Specific Heat c_p, J/kg · K Vapor	Thermal Conductivity k, W/m · k Liquid	Thermal Conductivity k, W/m · k Vapor	Dynamic Viscosity μ, kg/m · s Liquid	Dynamic Viscosity μ, kg/m · s Vapor
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4185	1863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}

2.2.9 Koefisien Gesek

Kekasaran yang terdapat didalam sebuah pipa dinilai sebagai suatu faktor gesekan yang terjadi pada fluida saat mengalir. Faktor ini sangat mempengaruhi besar kecilnya koefisien gesek yang terjadi pada fluida di dalam pipa, kecepatan aliran laminar, transisi dan turbulen. Terdapat beberapa persamaan koefisien gesek yang dapat digunakan yaitu :

a. Persamaan Darcy-Weisbach (1857)

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$f = \frac{hf \cdot D \cdot 2 \cdot g}{L \cdot v^2} \quad \text{.....(2.11)}$$

b. Persamaan koefisien gesek kondisi aliran laminar menurut moody

Persamaan dibawah ini merupakah contoh persamaan yang digunakan pada diagram moody dan peneliti-peneliti sebelumnya. Persamaan pada 2.12 merupakan

persamaan yang digunakan seperti pada peneliti Everts dan Mayer (2017), Draad dkk (1998), Srivastava dkk (2013), dan Heshmati dan Erturk (2016).

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{.....(2.12)}$$

c. Persamaan koefisien gesek kondisi aliran laminar menurut Garcia dkk., (2018)

Pada persamaan 2.13 ini digunakan pada beberapa peneliti seperti Garcia dkk (2018), Chilton dan Stainsby (1998), Tam dkk (2012), dan Burger (2010).

$$f = \frac{16}{Re} \quad \text{.....(2.13)}$$

d. Persamaan koefisien gesek kondisi transisi menurut Colebrook dan White (1937)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1{,}14 - 2.\log\left\{\frac{\varepsilon}{D} + \frac{9{,}35}{Re\,.\,\sqrt{f}}\right\} \quad \text{.....(2.14)}$$

e. Persamaan koefisien gesek kondisi turbulen menurut Moody

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.\log\{Re\,.\sqrt{f}\,\} - 0{,}8 \quad \text{.....(2.15)}$$

Keterangan :

f = koefisien gesek

ΔP = beda tekanan pada aliran masuk dan keluar (Pa)

D = diameter pipa (m)

g = percepatan gravitasi ($^{m}/_{s^2}$)

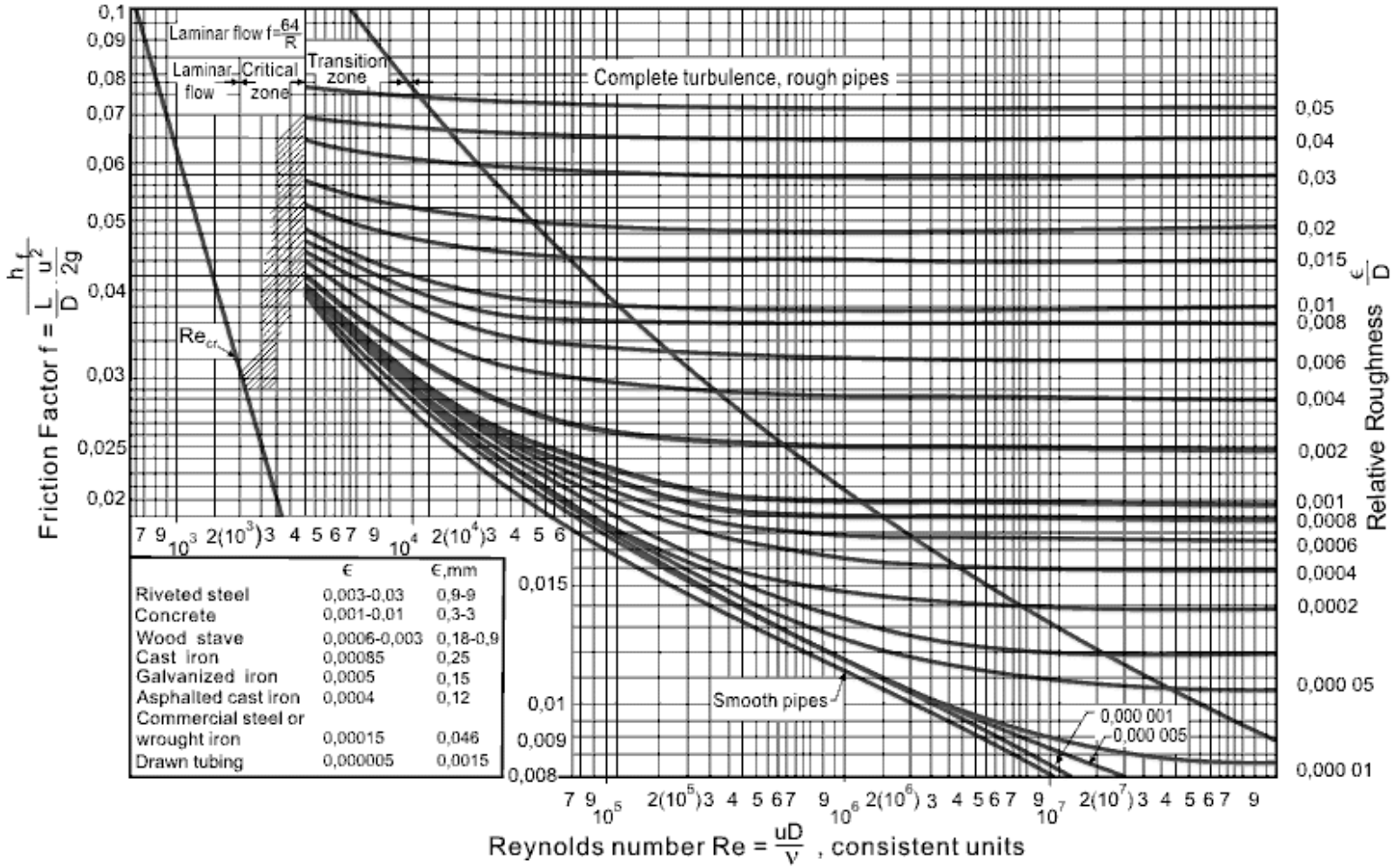
γ_{air} = berat jenis air ($^{N}/_{m^3}$)

L = panjang (m)

v = kecepatan aliran fluida ($^{m}/_{s}$)

Tabel 2. 2 Nilai Kekasaran Bahan (ε) (Moody)

NO	Material	Nilai Kekasaran bahan (mm)
1	*Cooper, Brass*	$3{,}05 \cdot 10^{-2}$
2	*Wraught Iron, Steel*	$4{,}6 \cdot 10^{-2}$
3	*Coated Steel*	$5{,}5 \cdot 10^{-2}$
4	*Uncoated Steel*	$2{,}8 \cdot 10^{-2}$
5	*Wrought Iron*	$5 \cdot 10^{-2}$
6	*PVC*	$1{,}5 \cdot 10^{-3}$



Gambar 2. 19 Diagram moody.
(Enginers Edge)

Diagram Moody digunakan untuk menunjukkan ketergantungan fungsional faktor gesekan (f) pada bilangan *Reynolds* (Re) dan kekasaran relative (ε/D). Perlu diperhatikan bahwa nilai ε/D tidak perlu selalu bersesuaian dengan nilai aktual yang diperoleh melalui suatu penentuan mikroskopik dari ketinggian rata-rata kekasaran permukaan. Diagram Moody adalah acuan dalam pembuatan alat alat ukur *head loss mayor* maupun head loss minor.

2.2.10 Head Rugi Gesek dalam Pipa *(Head loss)*

Head loss merupakan fenomena rugi-rugi aliran yang banyak terjadi,kerugian pada aliran terjadi di dalam pipa atau termasuk dalam aliran di dalam pipa. Rugi-rugi aliran ini terjadi karena berbagai faktor salah satunya yaitu karena aliran internal tersebut mengalami gesekan didalam pipa sehingga terjadi rugi-rugi aliran. Rugi-rugi aliran atau *Head loss* juga terjadi karena aliran pipa tersebut mengalami hambatan seperti adanya belokan, katup, dan lain sebagainya. Dengan adanya rugi-rugi aliran ini dapat mengurangi tingkat *efesiensi* dari aliran fluida tersebut.

Pada sebuah aliran didalam pipa sering terjadinya gesekan antara fluida dan dinding pipa sehingga mengakibatkan getaran panas dan akhirnya terjadi pengelupasan pada dinding pipa membuat kinerja pompa menjadi berat dan akhirnya membuat banyak kehilangan energi. Kehilangan energi dibagi menjadi 2 yaitu kehilangan mayor *(Head loss mayor)* dan kehilangan minor *(Head loss minor).*

2.2.10.1 Head Rugi Gesek Mayor

Kehilangan *mayor (Head loss Mayor)* ini terjadi akibat adanya gesekan yang terjadi pada penampang pipa. Tegangan geser yang berada di dalam pipa dan gradient kecepatan akan terjadi di seluruh lintasan pada saat mengalir dalam bidang batas yang diakibatkan oleh adanya *viskositas* atau kekentalan. Persamaan yang menyatakan kehilangan mayor (*Head loss mayor*) dapat dilihat pada persamaan 2.16.

$$h_f = f.\frac{L}{D}.\frac{V^2}{2.g} = \frac{\Delta P}{\rho\ .g} \qquad \text{……..(2.16)}$$

Keterangan :

h_f = *head loss mayor* (m)

f = koefisien gesek

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

g = percepatan gravitasi ($^{m}/_{s^2}$)

V = kecepatan aliran fluida ($^{m}/_{s}$)

ΔP = selisih tekanan di titik masuk dan keluar pipa (Pa)

ρ = Massa Jenis Fluida (kg/m³)

μ = *Viskositas* Dinamik Fluida (N.s/m²)

2.2.10.2 Head Rugi Gesek Minor

Perubahan ukuran penampang pada aliran fluida di dalam pipa dengan adanya belokan, katup, dan sambungan dapat menyebabkan suatu aliran fluida kehilangan energi yang disebut dengan Kehilangan Minor *(Head loss minor).* Kehilangan energi pada belokan mengakibatkan terjadinya kehilangan energi yang sangat besar dibandingkan dengan terjadinya gesekan di dalam pipa lurus. Persamaan yang menyatakan kehilangan minor (*Head loss minor*) dapat dilihat pada persamaan 2.17.

$$h_{f.min} = K.\frac{V^2}{2.g} \quad \text{.....(2.17)}$$

Keterangan :

$h_{f.min}$ = *head loss minor* (m)

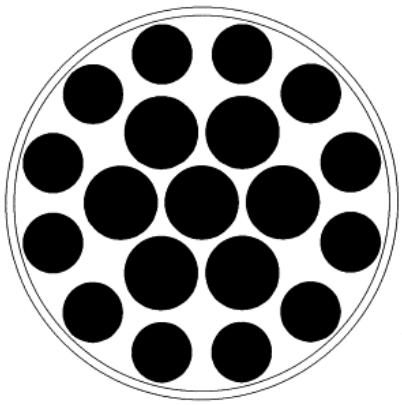
K = koefisien tahanan *head loss minor*

v = kecepatan aliran fluida ($^{m}/_{s}$)

g = percepatan gravitasi ($^{m}/_{s^2}$)

1.2.11 Flow Conditioner

Suatu aliran fluida yang mengalir didalam pipa selalu memiliki hambatan atau gangguan yang dapat menghambat aliran fluida. Salah satu hambatan atau gangguan adalah turbulensi, turbulensi dapat dikurangin dengan cara menggunakan alat pengatur aliran atau *flow conditioner* seperti pada gambar 2.20.



Gambar 2. 20 *Flow Conditioner*
(Erdal, 1997*)*

1.2.12 Manometer Air Raksa

Manometer air raksa merupakan alat ukur untuk mengetahui perbedaan tekanan yang terjadi di dua titik yang berbeda dengan membaca selisih ketinggian pada manometer air raksa. Manometer air raksa diisi setengahnya berupa air raksa.persamaan yang digunakan untuk mencari perbedaan tekanan dapat dilihat pada persamaan 2.18.

$$\Delta P = \rho_{air\ raksa} \cdot g \cdot \Delta z \quad \text{.....(2.18)}$$

Keterangan :

ΔP = Perbedaan tekanan (Pa)

Δz = Selisih ketinggian manometer (m)

$\rho_{air\ raksa}$ = Massa jenis fluida kg/m^3