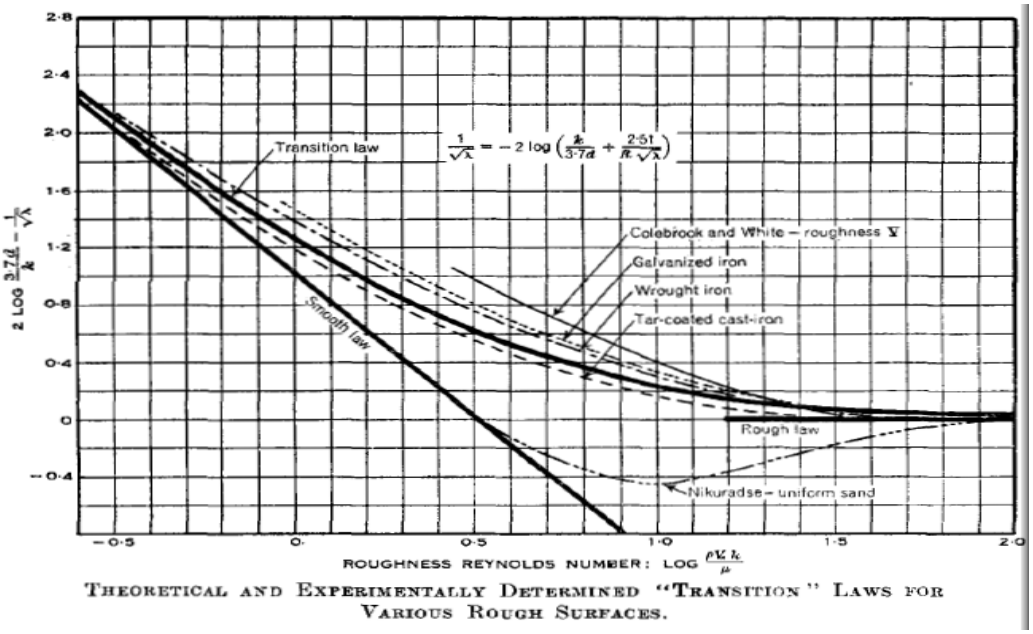
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

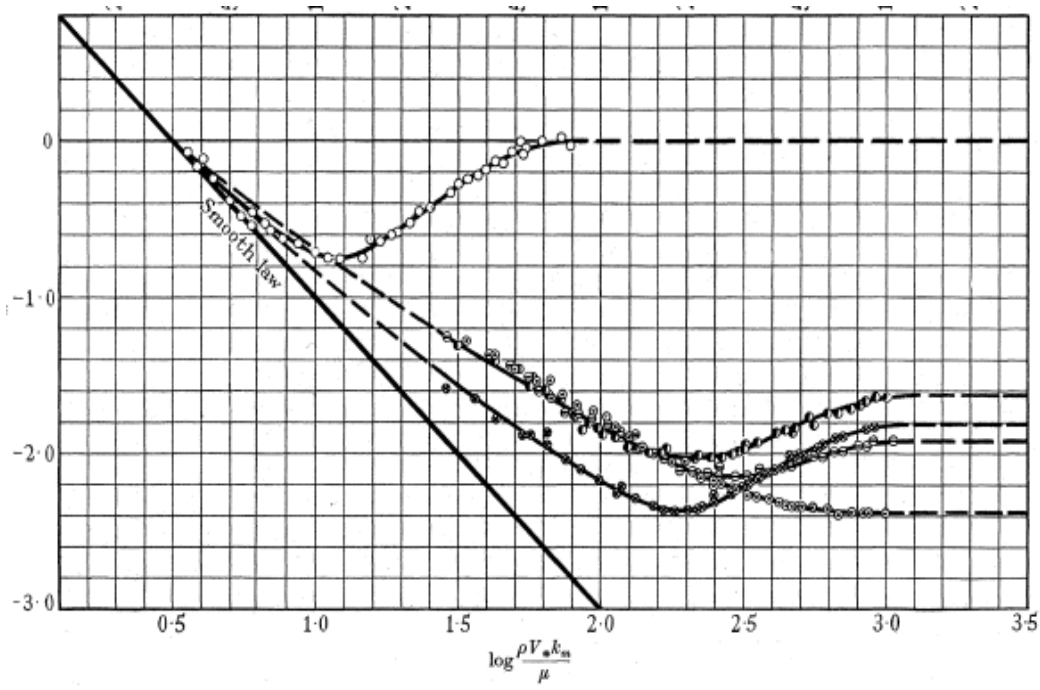
2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian dilakukan untuk memprediksi besar *head loss mayor* yang terjadi di dalam pipa. Nikuradse (1937) melakukan penelitian mengenai hubungan antar rejim aliran fluida menggunakan persamaan 2.13. Metode pengambilan data yang dilakukan adalah metode eksperimental dengan memberikan variasi jenis pipa yaitu pipa *galvanized-iron*, *cast-iron* dan *wrought-iron*. Hasil eksperimen tersebut menunjukkan bahwa setiap rejim aliran pada fluida memiliki batasannya masing-masing. Percobaan menunjukkan bahwa hukum *rough-pipe* (pipa kasar) berlaku untuk nilai-nilai yang melebihi 60, sementara untuk nilai-nilai kurang dari 3 hukum *rough-pipe* (pipa kasar) sama dengan *smooth pipe* (pipa halus). Hasil eksperimen menghasilkan kurva transisi sebagai hubungan antara bilangan Reynolds dengan kekasaran pada pipa galvanis, cast dan besi tempa yang dihasilkan dari analisis sebagian besar data yang dapat dilihat pada gambar 2.1



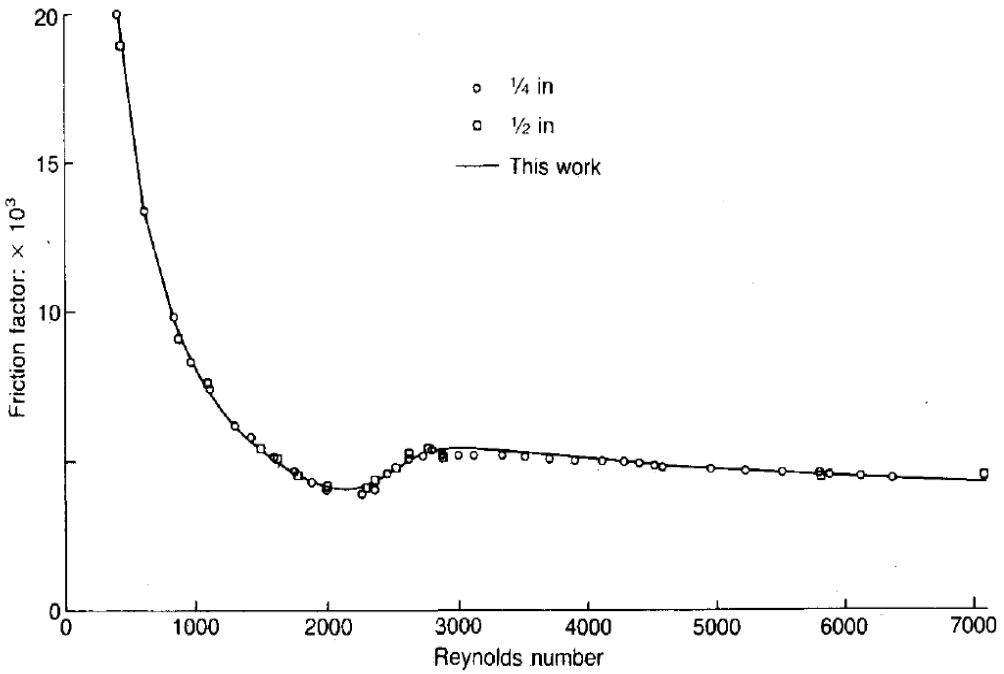
Gambar 2. 1 Grafik hubungan bilangan Reynolds dengan kekasaran. (Nikuradse, 1937)

Colebrook dan White (1937) melakukan penelitian mengenai gesekan fluida dengan variasi kekasaran pipa. Metode pengambilan data yang dilakukan adalah metode eksperimental dengan memberikan 5 variasi kekasaran pipa dan bilangan Reynolds. Hasil eksperimen menghasilkan kurva hubungan antara bilangan Reynolds dan koefisien gesek. Hasil eksperimen tersebut menunjukkan bahwa setiap kekasaran pipa memiliki besar kefisien gesek yang berbeda. Percobaan menunjukkan bahwa rentang transisi untuk permukaan V lebih panjang 6 sampai 7 kali dibandingkan rentang transisi pada permukaan I. Koefisien gesek yang melebihi daerah transisi maka koefisien hambatan yang terjadi hampir sama dengan hukum pipa halus. Hasil eksperimen menghasilkan kurva transisi sebagai hubungan antara bilangan Reynolds dengan variasi kekasaran pipa I=0,048 mm; II=0,073 mm; III=0,093 mm; IV=0,066 mm dan V=0,038 mm kekasaran yang dihasilkan dari analisis sebagian besar data yang dapat dilihat pada gambar 2.2. Penelitian Colebrook dan White (1937) menggunakan persamaan 2.14.



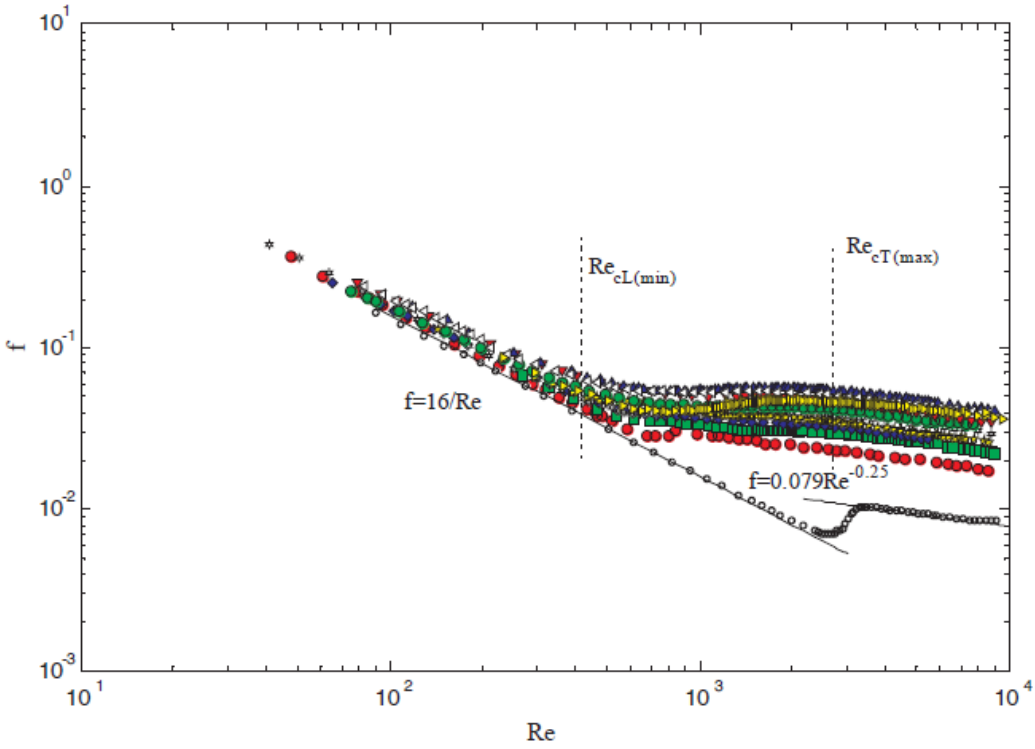
Gambar 2. 2 Grafik hubungan bilangan Reynolds dengan kekasaran.
(Colebrook dan White, 1937)

Chen dan Ackland (1990) melakukan penelitian mengenai hubungan koefisien gesek rejim aliran laminar, turbulen dan transisi pada aliran fluida. Metode pengambilan data yang dilakukan adalah metode eksperimental dengan memberikan variasi diameter pipa ½" dan ¼" serta variasi bilangan Reynolds dari 800 hingga 7000 dengan pipa *near-smooth brass*. Hasil eksperimen menghasilkan kurva hubungan antara bilangan Reynolds dan koefisien gesek. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa koefisien gesek yang terjadi di rejim aliran laminar, transisi dan turbulen cenderung menurun terhadap pertambahan bilangan Reynolds dan hanya terjadi sedikit kenaikan koefisien gesek yang terjadi pada daerah kritis sebelum memasuki daerah transisi. Hasil dari eksperimen digambarkan dalam grafik hubungan antara bilangan Reynolds dengan koefisien gesek yang dapat dilihat pada gambar 2.3. Penelitian Chen dan Ackland (1990) menggunakan persamaan 2.15.



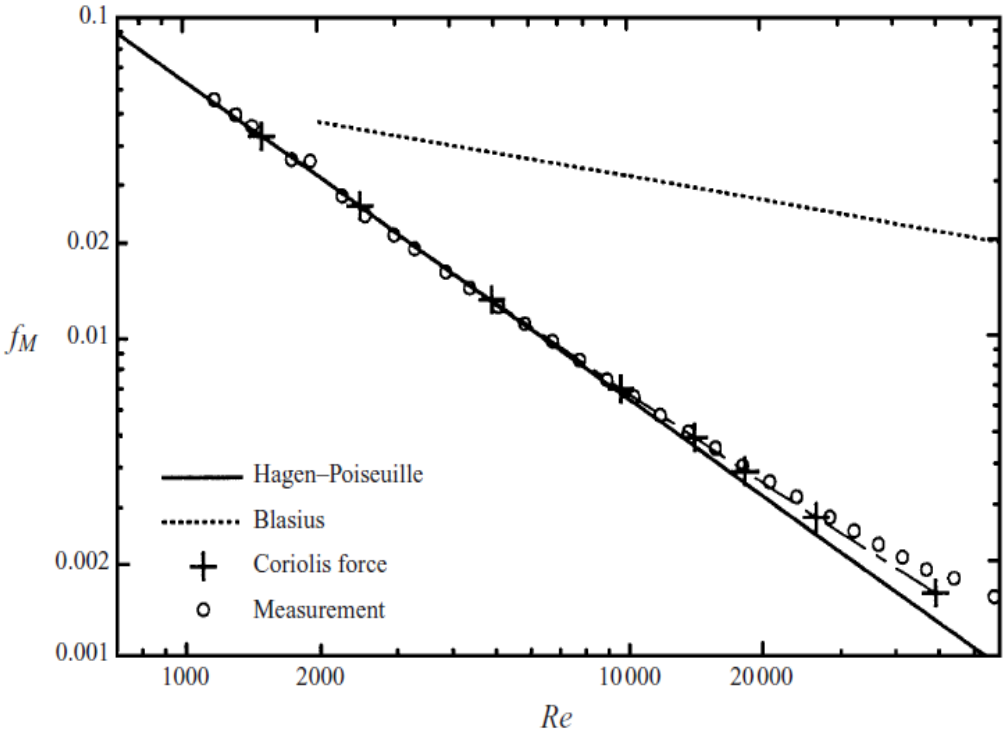
Gambar 2. 3 Grafik hubungan koefisien gesek dengan bilangan Reynolds (Chen, J. J. dan Ackland, A. D., 1990)

Garcia dkk., (2017) melakukan penelitian tentang hubungan koefisien gesek yang terjadi pada bilangan Reynolds kritis. Metode pengambilan data yang dilakukan adalah metode eksperimental dengan memberikan variasi bilangan Reynolds dari 50 hingga 8000, kekasaran pipa 0,076 dan diameter pipa dari 7 mm hingga 18 mm. Hasil eksperimen menghasilkan kurva hubungan antara bilangan Reynolds dan koefisien gesek yang terjadi. Hasil eksperimen ini mampu memprediksi tingkat perubahan faktor gesekan dengan bilangan Reynolds kritis termasuk pada daerah transisi. Terlihat pada gambar 2.4 bahwa besar koefisien gesek yang terjadi pada aliran fluida berbanding terbalik dengan bilangan Reynolds di mana semakin besar bilangan Reynolds maka semakin kecil koefisien gesek yang terjadi. Persamaan yang digunakan pada penelitian Garcia dkk., (2017) untuk mencari besar koefisien gesek pada bilangan Reynolds kritis adalah persamaan 2.16.



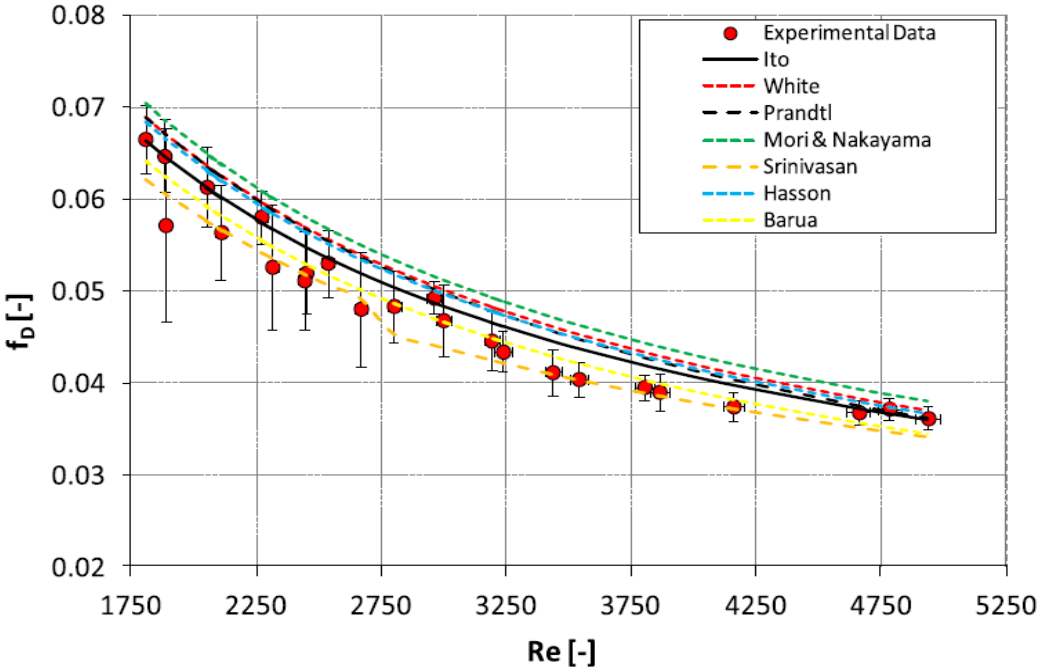
Gambar 2. 4 Grafik hubungan koefisien gesek dengan bilangan Reynolds (Garcia dkk., 2017)

Draad dkk., (1998) melakukan penelitian tentang rejim aliran transisi dari laminar ke turbulen untuk fluida Newtonian dan non Newtonian. Metode pengambilan data yang dilakukan adalah metode eksperimental dengan mengukur perbedaan tekanan yang terjadi pada pipa silinder dengan panjang 32 m dan diameter 40 mm serta bilangan Reynolds berkisar antara 1000 hingga 60000. Hasil eksperimen menghasilkan kurva hubungan antara bilangan Reynolds dan koefisien gesek yang terjadi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa koefisien gesek yang terjadi di rejim aliran laminar, transisi dan turbulen cenderung menurun terhadap pertambahan bilangan Reynolds. Hasil dari eksperimen digambarkan dalam grafik hubungan antara bilangan Reynolds dengan koefisien gesek yang dapat dilihat pada gambar 2.5. Persamaan yang digunakan pada penelitian Draad dkk., (1998) untuk mencari besar koefisien gesek pada daerah transisi adalah persamaan 2.17.



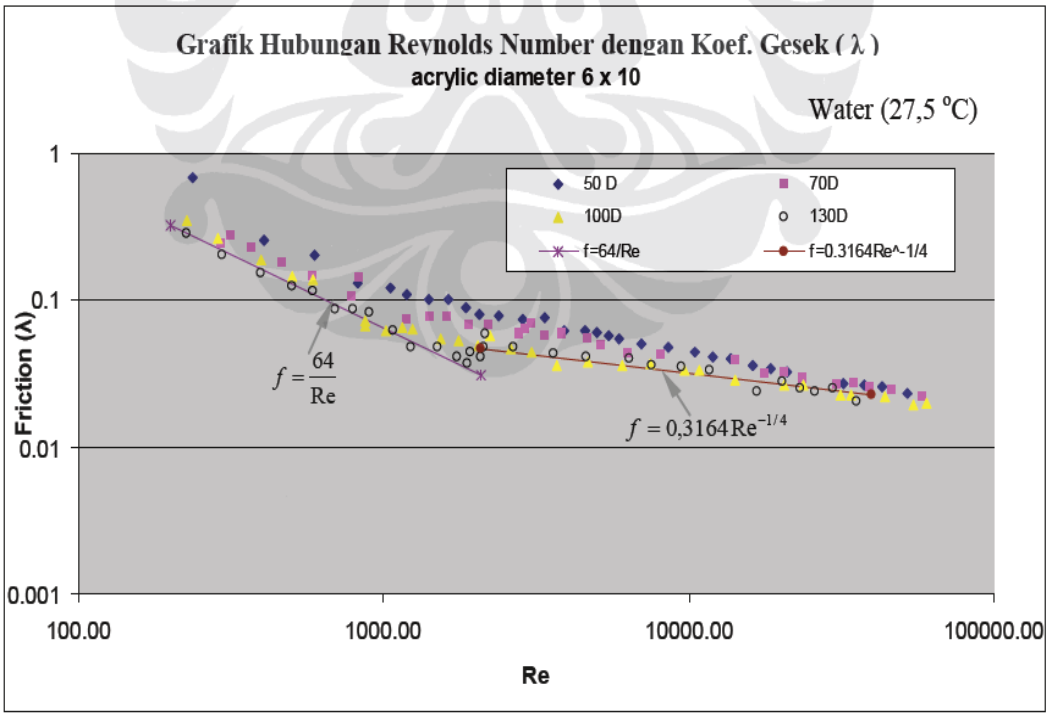
Gambar 2. 5 Grafik hubungan koefisien gesek dengan bilangan Reynolds (Draad dkk., 1998)

Amicis dkk., (2014) melakukan studi eksperimental tentang aliran laminar yang dalam penelitiannya membahas juga mengenai rejim aliran transisi. Metode pengambilan data yang dilakukan adalah dengan cara pengukuran perbedaan tekanan yang terjadi pada sisi masukan dan keluaran pipa yang memiliki kekasaran 0,255 mm, diameter 12,53 mm dan panjang 32 m. Pada eksperimen ini data eksperimental untuk kondisi rejim aliran laminar dibandingkan dengan korelasi yang berbeda dan efektivitas dari korelasi yang sama di wilayah transisi juga dianalisis. Hasil eksperimen menghasilkan kurva hubungan antara bilangan Reynolds dan koefisien gesek yang terjadi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa koefisien gesek yang terjadi pada rejim aliran laminar, transisi dan turbulen cenderung menurun terhadap pertambahan bilangan Reynolds. Hasil dari eksperimen digambarkan dalam grafik hubungan antara bilangan Reynolds dengan koefisien gesek yang dapat dilihat pada gambar 2.6. Persamaan yang digunakan pada penelitian Amicis dkk., (2014) untuk mencari besar koefisien gesek pada daerah transisi adalah persamaan 2.18.



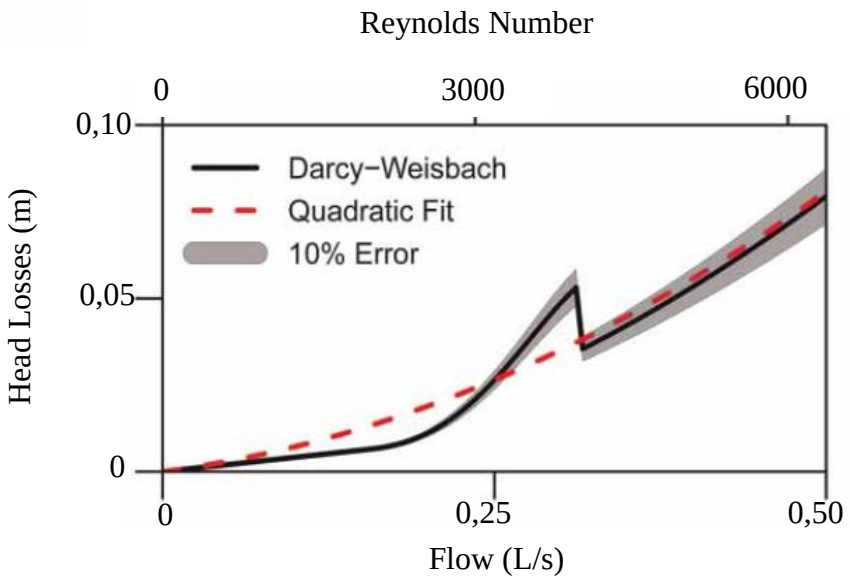
Gambar 2. 6 Grafik hubungan koefisien gesek dengan bilangan Reynolds (Amicis dkk., 2014)

Karyono (2008) melakukan penelitian terkait dengan analisa aliran berkembang pada pipa lurus. Metode pengambilan data yang dilakukan adalah metode eksperimental dengan memberikan variasi jenis pipa yaitu pipa *acrylic* dan aluminium serta variasi diameter 4 mm dan 6 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bilangan Reynolds yang semakin tinggi akan mengakibatkan naiknya kecepatan dan *head loss mayor* berbanding terbalik dengan koefisien gesek yang cenderung mengecil. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa koefisien gesek yang terjadi pada rejim aliran laminar, transisi dan turbulen cenderung menurun terhadap pertambahan bilangan Reynolds. Hasil dari eksperimen Karyono (2008) digambarkan dalam grafik hubungan antara bilangan Reynolds dengan koefisien gesek yang dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Grafik hubungan bilangan Reynolds dengan koefisien gesek (Karyono, 2008)

Eck dan Mevissen (2015) melakukan penelitian mengenai pengukuran kerugian tekanan pada aliran fluida. Metode pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode eksperimental pada pipa dengan panjang 100 m, diameter 100 mm, kekasaran sebesar 0,3 mm dan viskositas fluida sebesar 1.002x $10^{-6} m^2/s$. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa *head loss* yang terjadi pada aliran fluida di dalam pipa lurus cenderung terus meningkat seiring dengan bertambahnya bilangan Reynolds dan pada bagian atas kurva menunjukkan kesamaan dengan hasil kurva teoritis yang digunakan. Hasil dari penelitian Eck dan Mevissen dapat dilihat pada gambar 2.8 yang menunjukkan hubungan antara *head loss* dengan bilangan Reynolds dengan koefisien gesek yang dapat dilihat pada gambar 2.8. Penelitian Eck dan Mevissen (2015) menggunakan persamaan 2.12.



Gambar 2. 8 Hubungan Head Loss dengan Kecepatan
(Eck dan Mevissen 2015)

Dari tinjauan pustaka yang sudah diuraikan sebelumnya, terlihat bahwa kenaikan bilangan Reynolds akan berpengaruh kepada koefisien gesek dan *head loss* yang terjadi pada aliran fluida. Pada penelitian Nikuradse (1937), Colebrook dan White (1937), Chen dan Ackland (1990), Garcia dkk., (2017), Draad dkk., (1998), Amicis dkk., (2014) serta Karyono (2010) terlihat bahwa koefisien gesek cenderung menurun seiring bertambahnya bilangan Reynolds dan berlaku pada semua aliran yaitu laminar, transisi dan turbulen. Pada penelitian Eck dan Mevissen (2015) terlihat bahwa kehilangan tekanan pada pipa berbanding lurus dengan pertambahan debit aliran dan Bilangan Reynolds. Namun dari penelitian-penelitian di atas secara umum hanya meneliti koefisien gesek dan *head loss mayor* yang mencangkup seluruh rejim aliran yaitu rejim aliran laminar, transisi dan turbulen namun pada rejim aliran transisi diprediksi dengan akurasi yang kurang sehingga membutuhkan perbaikan dalam memprediksi rejim tersebut. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai pengukuran koefisien gesek dan *head loss mayor* yang terjadi pada pipa seperti pada penelitian Nikuradse (1937), Colebrook dan White (1937), Chen dan Ackland (1990), Garcia dkk., (2017), Draad dkk., (1998), Amicis dkk., (2014), Karyono (2010) serta Eck dan Mevissen (2015) hanya saja pada penelitian ini pipa pengukuran yang digunakan adalah pipa PVC berdiameter ½" dan menggunakan variasi debit aliran yang disesuaikan sehingga terjadi pola aliran transisi dengan cara mengatur 2 buah *gate valve* yang terpasang pada rangkaian pipa. Terdapat 2 buah *gate valve* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *gate valve* 1 untuk mengatur aliran yang masuk pada pipa pengukuran dan *gate valve* 2 yang digunakan untuk membuang debit aliran berlebih yang keluar dari pompa untuk dikembalikan ke wadah pemasok air.

2.2 Dasar teori

2.2.1 Definisi fluida

Fluida merupakan zat yang tidak mampu menahan perubahan bentuk. Perubahan bentuk pada fluida akan terjadi secara terus menerus selama tegangan geser terus terjadi. Besar tegangan geser yang terjadi akan sangat bergantung pada laju aliran dan viskositas pada fluida. Fluida memiliki densitas tertentu yang bergantung pada temperatur dan tekanan yang terjadi. Fluida digolongkan *incompressible* apabila fluida tersebut tidak terlalu banyak terpengaruh oleh tekanan, misalnya zat cair. Namun, apabila fluida tersebut sensitif terhadap perubahan tekanan maka fluida tersebut digolongkan sebagai *compressible*, contohnya gas.

2.2.2 Sifat fluida

Hal yang harus dilakukan sebelum mempelajari aliran fluida adalah dengan mengetahui sifat-sifat dasar pada fluida. Fluida memiliki beberapa sifat dasar, yaitu kerapatan (*density*), tekanan (*pressure*), berat jenis (*spesific gravity*) dan kekentalan (*viscosity*).

2.2.2.1 Kerapatan (*Density*)

Kerapatan atau *density* dilambangkan dengan $\boldsymbol{\rho}$ ”rho” yang diartikan sebagai perbandingan antara massa per satuan volume. Rumus dari kerapatan dapat ditunjukan pada persamaan 2.1 berikut:

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

Keterangan:

ρ = Kerapatan (kg/m^3)
m = Massa (kg)
V = Volume (m^3)

Setiap bahan murni memiliki sifat karakteristik ini seperti emas murni yang memiliki ukuran berbeda-beda akan tetapi kerapatannya akan sama untuk semua ukuran. Satuan kerapatan dalam SI adalah kg/m^3, terkadang kerapatan juga menggunakan satuan g/m^3 dengan kg/m^3= 1000g/(100 cm^3), maka dari itu kerapatan air untuk suhu 20˚C adalah 0,988 g/m^3= 988 kg/m^3.

2.2.2.2 Gravitasi Jenis (*Spesific Gravity*)

Gravitasi jenis atau *spesific gravity* dilambangkan dengan SG yang diartikan sebagai perbandingan antara kerapatan bahan dengan kerapatan air. Sifat dasar fluida ini tidak memiliki dimensi ataupun satuan. Rumus dari berat jenis dapat ditunjukkan pada persamaan 2.2 dan 2.3 berikut:

$$SGc = \frac{\rho_c \left[\frac{kg}{cm^3}\right]}{\rho_w \left[\frac{kg}{cm^3}\right]} \quad \text{.....(2.2)}$$

$$SGg = \frac{\rho_g \left[\frac{kg}{cm^3}\right]}{\rho_a \left[\frac{kg}{cm^3}\right]} \quad \text{.....(2.3)}$$

Keterangan:

ρ_w = massa jenis air (kg/m^3)
ρ_g = massa jenis zat gas (kg/m^3)
ρ_a = massa jenis udara (kg/m^3)
ρ_c = massa jenis liquid (kg/m^3)

2.2.2.3 Tekanan (*Pressure*)

Tekanan atau *pressure* berhubungan dengan volume dan suhu. Jika dalam suatu volume memiliki tekanan yang tinggi maka suhu akan meningkat. Tekanan fluida menyebar ke semua arah dengan kekuatan yang sama serta tegak lurus pada bidang. Tekanan dilambangkan dengan P yang diartikan sebagai gaya per satuan luas, di mana gaya (F) diasumsikan berkerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan A. Rumus dari tekanan (*pressure*) dapat ditunjukkan pada persamaan 2.4 berikut:

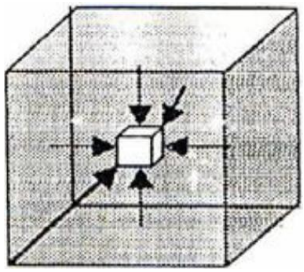
$$P = \frac{F}{A} \left[\frac{N}{m^2}\right] \quad \text{..... (2.4)}$$

Keterangan:

P = Tekanan (N/m^2)
F = Gaya (N)
A = Luas Permukaan (m^2)

Semua yang menggunakan fluida sangat memerlukan konsep tekanan. Sebuah percobaan menghasilkan fakta bahwa fluida akan memberikan tekanan kesemua arah, sebagai contoh para perenang yang merasakan tekanan pada

seluruh tubuhnya yang disebabkan oleh tekanan air. Fluida diam akan memberikan tekanan yang sama kesemua arah pada titik tertentu seperti pada gambar 2.9 yang mengilustrasikan fluida ketika berada di dalam suatu kubus berukuran kecil di mana gaya gravitasi yang terjadi diabaikan. Tekanan fluida yang terjadi pada suatu sisi harus sama besar dengan tekanan fluida pada sisi yang berlawanan.



Gambar 2. 9 Fluida yang diam akan memiliki tekanan yang sama ke semua arah. (Helmizar, 2010)

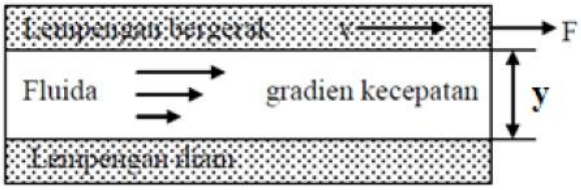
2.2.2.4 Kekentalan (Viskositas)

Kekentalan (viskositas) adalah ukuran dari kekentalan fluida yang mempengaruhi besar kecilnya gesekan yang terjadi di dalam fluida. Jika fluida memiliki viskositas yang besar maka fluida tersebut akan sulit untuk bergerak atau mengalir dan semakin sulit juga benda untuk bergerak di dalam fluida tersebut. Viskositas berasal dari gaya kohesi yang terjadi antar molekul zat cair. Koefisien viskositas adalah besaran kuantitatif untuk menentukan viskositas pada zat cair. Koefisien viskositas memiliki satuan SI yaitu N/$m^2.s$ atau Pa.s. Kekentalan atau viskositas adalah gesekan fluida dengan lintasan saat fluida itu mengalir dan gesekan antar lapisan fluida yang berdekatan saat lapisan tersebut bergerak.

Kekentalan atau viskositas pada cairan disebabkan karena adanya gaya kohesif yang terjadi antar molekul sedangkan pada gas kekentalan atau viskositas terjadi akibat tumbukan antar molekul. Setiap jenis fluida memiliki kekentalan fluida yang berbeda dan dinyatakan secara kuantitatif dengan koefisien kekentalan. Kekentalan atau viskositas dilambangkan dengan μ.

Kekentalan dapat dibuktikan dengan cara meletakkan fluida di antara dua lempengan datar di mana salah satu lempengan diam dan lempengan yang lain

dibuat bergerak. Fluida yang bersinggungan secara langsung dengan dua lempengan datar akan ditarik pada permukaannya oleh gaya rekat diantara molekul-molekul cairan dengan kedua lempengan tersebut. Hal ini menyebabkan permukaan fluida yang berada di bagian atas bergerak dengan laju v mendekati kecepatan lempengan bagian atas sedangan fluida yang dekat atau bersinggungan dengan lempengan datar yang diam akan diam. Kecepatan yang terjadi akan bervariasi secara linear dari 0 hingga v seperti ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Penentuan kekentalan (Helmizar, 2010)

Terdapat dua macam viskositas yaitu:

a. Viskositas kinematik

Viskositas ini adalah perbandingan antara viskositas mutlak dengan rapat jenis (*density*). Rumus dari viskositas kinematik dapat dilihat pada persamaan 2.5 berikut :

$$\upsilon = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{..... (2.5)}$$

Keterangan :

μ = Nilai viskositas mutlak (kg/m.s)
ρ = Nilai kerapatan massa fluida (kg/m3)

b. Viskositas dinamik atau viskositas mutlak

Viskositas ini memiliki nilai yang sama dengan hukum viskositas newton.

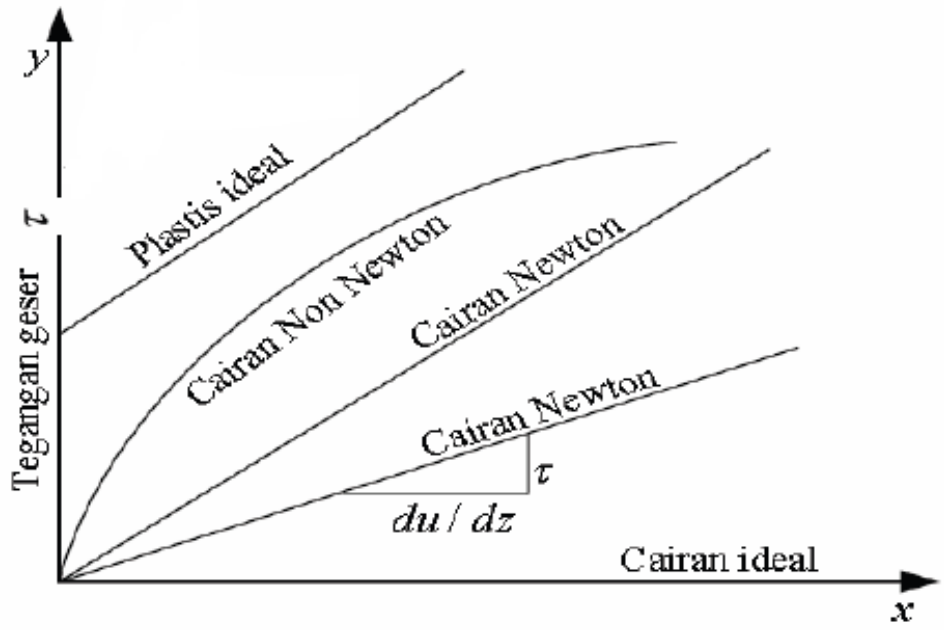
Rumus dari viskositas dinamik atau viskositas mutlak dapat dilihat pada persamaan 2.6 berikut :

$$\tau = \frac{\tau}{du/dz} \quad \text{..... (2.6)}$$

Keterangan :

τ = Tegangan Geser Pada Fluida (kg/m2)
du/dz = Gradient Kecepatan (m/s)

Fluida didefinisikan sebagai fluida Newtonian dan non-Newtonian apabila tegangan geser yang terjadi berbanding lurus linier dengan gradien kecepatan pada arah yang tegak lurus pada bidang geser. Maksud dari definisi tersebut adalah bahwa fluida Newtonian tidak terpengaruh gaya-gaya yang berkerja pada fluida sehingga fluida Newtonian akan terus mengalir. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 2.11.



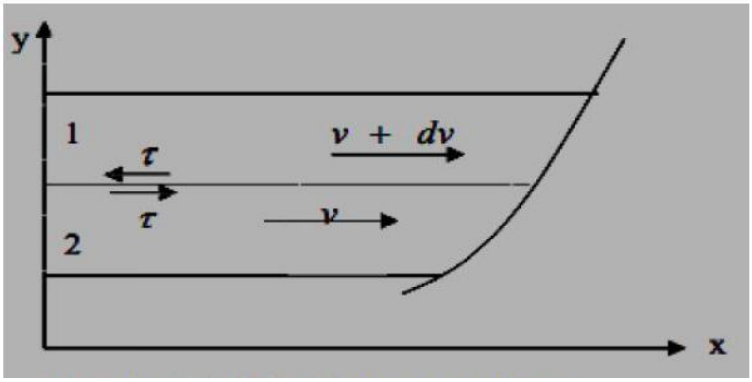
Gambar 2. 11 Diagram Rheologi (Helmizar, 2010)

Viskositas yang berlaku pada fluida Newtonian tergantung pada tekanan dan temperatur dan tidak terpengaruh pada gaya-gaya yang terjadi pada fluida. Jika fluida memiliki sifat inkompresibel maka besar viskositas yang terjadi akan tetap dan tidak berubah di semua bagian fluida. Fluida Newtonian adalah fluida yang mempunyai kurva tegangan atau regangan linier, contohnya adalah air.

Fluida Newtonian mempunyai keunikan tersendiri yaitu fluida ini akan secara terus menerus mengalir meskipun terdapat gaya yang berkerja pada fluida tersebut karena viskositas atau kekentalan pada fluida Newtonian tidak berubah meskipun terdapat gaya pada fluida. Viskositas pada fluida Newtonian hanya akan terpengaruh oleh tekanan dan temperatur, berbeda dengan fluida non-Newtonian di mana fluida jenis ini memiliki viskositas fluida yang berubah ketika terdapat gaya yang berkerja pada fluida tersebut contohnya ketika pengadukan.

2.2.2.5 Hukum Newton Kekentalan

Gaya-gaya geser yang terbentuk antara 2 (dua) elemen zat cair disebabkan oleh kekentalan dari zat cair. Kekentalan yang ada pada fluida akan mengakibatkan terjadinya kehilangan energi saat fluida mengalir melewati suatu lintasan sehingga membutuhan energi yang lebih agar menjamin terjadinya pengaliran. Tegangan geser antara 2 (dua) partikel zat cair yang berdampingan akan sebanding dengan perbedaan kecepatan dari kedua partikel (gradien kecepatan) yang dapat dilihat pada gambar.



Gambar 2. 12 Ilustrasi tegangan geser (Helmizar, 2010)

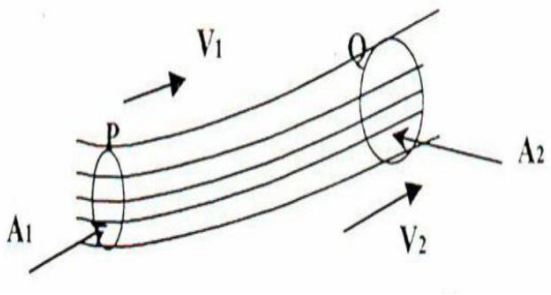
Seperti yang terlihat pada gambar 2.12 bahwa apabila terdapat 2 (dua) elemen zat cair yang berdekatan dan bergerak dengan kecepatan yang berbeda maka elemen yang mempunyai kecepatan lebih tinggi akan berkurang kecepatannya karena bergesekan dengan elemen yang lebih rendah sedangkan elemen yang memiliki kecepatan lebih rendah kecepatannya akan meningkat karena pengaruh gesekan dengan elemen yang memiliki kecepatan lebih tinggi.

Tegangan geser yang terjadi pada bagian bawah lapisan 1 terjadi ke arah kiri akibat tertahan oleh bagian atas lapisan ke dua di mana lapisan ke dua mempunyai kecepatan lebih rendah dari kecepatan lapisan 1, sedangkan pada lapisan 2 tegangan geser yang terjadi pada bagian atas lapisan ke arah kanan karena pengaruh gesekan dengan lapisan 1 yang mempunyai kecepatan lebih tinggi. Gesekan juga terjadi antara dinding batas dengan aliran fluida di mana tegangan geser yang terjadi akan membesar karena gradien kecepatan di daerah ini sangat besar.

2.2.3 Persamaan Dasar Aliran Fluida

2.2.3.1 Persamaan kontinuitas

Persamaan kontinuitas adalah persamaan yang menghubungkan kecepatan fluida dari satu tempat ke tempat yang lain dan memiliki massa jenis yang tetap. Pergerakan fluida akan sejajar dengan dinding ketika fluida berada di dalam tabung meskipun kecepatan dari satu titik dengan titik lain memiliki besar yang berbeda. Persamaan kontinuitas yang terjadi dalam tabung dapat ditunjukkan pada persamaan 2.7 dan gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Ilustrasi persamaan kontinuitas di dalam pipa (Helmizar, 2010)

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

$$(\rho \,.\, A.\, v)_1 = (\rho \,.\, A.\, v)_2 \quad \text{.....} \quad (2.7)$$

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)

Berdasarkan persamaan 2.7 dapat dilihat bahwa luas penampang dan kecepatan aliran fluida adalah konstan sepanjang lintasan yang dilewatinya.

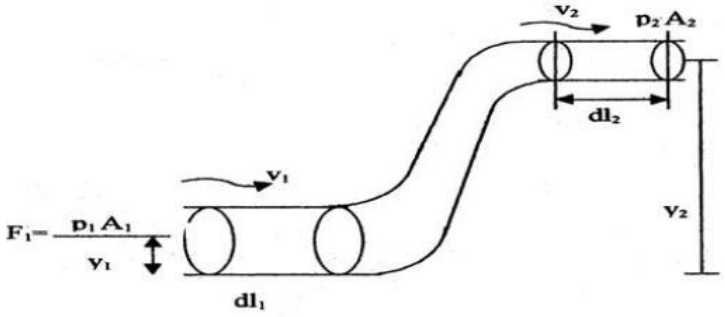
2.2.3.2 Persamaan Bernoulli

Pada mekanika fluida terdapat persamaan yang menyatakan bahwa kecepatan pada aliran fluida akan berpengaruh pada tekanan, jika kecepatan pada aliran fluida meningkat maka akan terjadi penurunan tekanan pada aliran itu, persamaan ini disebut dengan persamaan Bernoulli. Persamaan Bernoulli juga menyatakan bahwa pada aliran tertutup jumlah energi pada setiap titik yang berbeda akan memiliki besar yang sama saat aliran tersebut mengalir pada lintasan yang sama.

Fluida akan memiliki tekanan yang besar di suatu titik ketika kelajuan aliran yang terjadi kecil. Sebaliknya, fluida akan memiliki tekanan yang kecil di suatu titik ketika kelajuan aliran yang terjadi besar.

Terdapat dua bentuk persamaan Bernoulli yang sudah disederhanakan yaitu persamaan yang digunakan untuk aliran tak termampatkan (*Incompressible Flow*) dan persamaan yang digunakan untuk untuk fluida termampatkan (*Compressible Flow*). Aliran tak termampatkan (*Incompressible Flow*) akan memenuhi persamaan Bernoulli apabila aliran tersebut mengalir dengan *stedy state* dan tidak mengalami gesekan.

Bentuk persamaan energi (*head*) yang terdiri dari kecepatan aliran (v), tekanan (p) dan ketinggian (h) pada fluida di dalam pipa di mana fluida tersebut bersifat *incompersible* atau tidak kental yang mengalir tidak pada aliran turbulen. Aliran fluida yang mengalir pada ketinggian yang berbeda dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Ilustrasi perbedaan ketinggian pada pipa (Helmizar, 2010)

Head ketinggian adalah faktor yang menentukan besar energi potensial yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida pada ketinggian tertentu. *Head* kecepatan adalah faktor yang menentukan besar energi kinetik yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida pada ketinggian tertentu. *Head* tekanan adalah energi aliran yang mempunyai besar yang sama dengan tekanan dari fluida akibat perbedaan ketinggian.

Jika permukaan yang ada pada penampang pipa tidak sempurna maka akan muncul gesekan antara permukaan pipa dengan fluida yang sedang mengalir melewatinya sehingga persamaan energi menjadi:

$$\frac{P_1}{\rho.g} + \frac{\bar{v}_1^{\,2}}{2.g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho.g} + \frac{\bar{v}_2^{\,2}}{2.g} + z_2 + hl \qquad \text{..... (2.8)}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho.g} = \frac{\Delta P}{\rho.g} = \mathrm{h_L}$$

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 = Kehilangan Tekanan (m)
γ = Berat Jenis Fluida (kg/m^2s^2).

2.2.4 Karakteristik dan Jenis Fluida

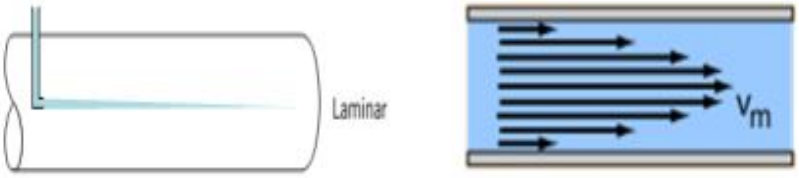
Profil aliran pada fluida yang terjadi di dalam pipa akan sangat berhubungan dengan karakteristik dan jenis fluida. Profil aliran pada fluida sangat terpengaruh oleh gaya gesek antara lapisan fluida dengan lapisan fluida atau antara lapisan fluida dengan dinding pipa dan gaya momentum yang terjadi pada fluida sehingga menyebabkan fluida tersebut dapat mengalir di dalam pipa. Jenis aliran pada fluida dibagi menjadi 4 berdasarkan sifat dari gerakan fluida yaitu *uniform flow, non-unifrom flow, stedy flow* dan *non-stedy flow*.

Aliran fluida dikatakan sebagai *uniform flow* apabila vektor-vektor kecepatan yang terjadi pada aliran fluida selalu sama di semua titik. Aliran fluida dikatakan sebagai *non-unifrom flow* apabila vektor-vektor kecepatan yang terjadi pada aliran fluida selalu berubah-ubah di semua titik yang terdapat pada lintasan aliran fluida. Aliran fluida dikatakan sebagai *stedy flow* apabila kecepatan pada aliran fluida tidak terpengaruh oleh waktu sehingga fluida mempunyai kecepatan yang tetap dan stabil di semua titik yang terdapat pada lintasan aliran fluida. Aliran fluida dikatakan sebagai *non-stedy flow* apabila kecepatan pada aliran fluida terpengaruh oleh waktu sehingga fluida mempunyai kecepatan yang berubah-ubah di semua titik yang terdapat pada lintasan aliran fluida.

Jenis fluida dibagi menjadi 2 berdasarkan pengaruh dari tekanan terhadap volume yaitu fluida tak termampatkan (*incompresible)* dan fluida termampatkan (*compressible)*. Fluida massa jenisnya tidak ikut berubah ketika terjadi perubahan tekanan maka fluida ini disebut fluida tak termampatkan (*incompresible)*, sedangkan fluida yang massa jenisnya ikut berubah ketika terjadi perubahan tekanan maka fluida ini disebut fluida termampatkan (*compressible).* Jenis fluida dibagi menjadi 2 berdasarkan kekentalannya yaitu fluida nyata (*viscous fluid)* dan fluida ideal (*non-viskos fluid*). Jenis aliran pada fluida dibagi menjadi 3 berdasarkan pola aliran yaitu aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen.

2.2.4.1 Aliran laminar

Aliran laminar adalah aliran fluida yang salah satu lapisannya bergerak dengan lancar di dalam lapisan atau laminar pada lapisan yang berdekatan dan saling bertukar momentum pada waktu yang bersamaan secara molekuler. Ketidakstabilan pada aliran laminar hilang karena pengaruh dari gaya geser viskos yang terjadi di mana gaya viskos ini menahan gerakan relatif yang terjadi pada lapisan fluida yang berdekatan. Aliran laminar memiliki bilangan Reynolds yang kurang dari 2300 (Re<2300). Ilustrasi dari aliran laminar dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Ilustrasi aliran laminar (Helmizar, 2010)

2.2.4.2 Aliran transisi

Aliran transisi adalah aliran fluida yang terjadi ketika aliran fluida berubah dari aliran laminar ke aliran turbulen. Aliran transisi memiliki bilangan Reynolds yang berada antara 2300 sampai dengan 4000 (2300<Re<4000). Ilustrasi dari aliran transisi dapat dilihat pada gambar 2.16.

Gambar 2. 16 Ilustrasi aliran transisi (Helmizar, 2010)

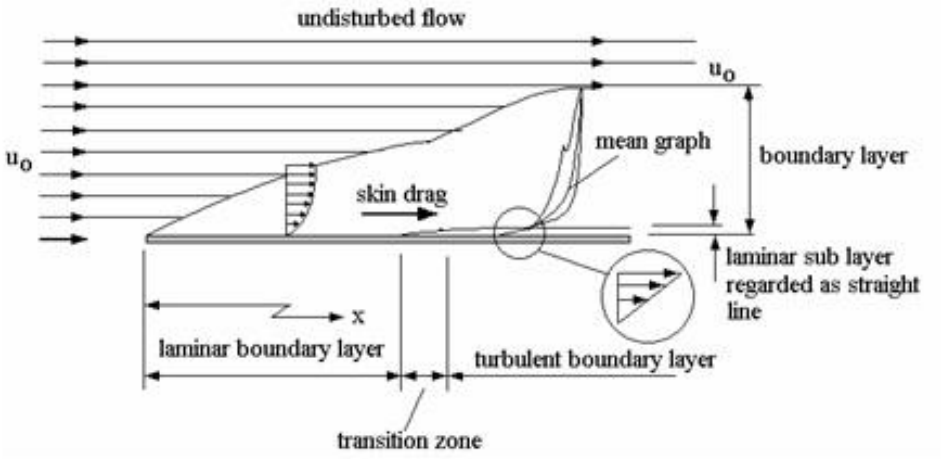
2.2.4.3 Aliran turbulen

Aliran turbulen adalah aliran fluida yang bergerak dengan lintasan yang tidak teratur yang menyebabkan pertukaran momentum pada suatu bagian fluida ke bagian fluida lain. Aliran turbulen dengan skala kecil terdiri dari beberapa pusaran kecil yang bergerak dengan cepat sehingga mengubah energi dari energi mekanik menjadi energi tak mampu balik, aliran turbulen juga dapat berskala besar di mana aliran ini terdiri dari beberapa pusaran besar. Fluktuasi kecil yang ada pada aliran turbulen skala kecil terjadi dengan frekuensi yang tinggi. Intensitas turbulensi sangat dipengaruhi oleh bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds pada aliran turbulen lebih besar dari 4000 (Re>4000).

Aliran akan berubah dan bertransisi dari aliran laminar menjadi aliran turbulen. Pada keadaan aliran turbulen terjadi pembangkitan tegangan geser akibat dari turbulensi yang terjadi di seluruh bagian fluida sehingga terjadi penurunan tekanan pada aliran fluida yang disebut kerugian aliran. Ilustrasi dari aliran turbulen dapat dilihat pada gambar 2.17.

Gambar 2. 17 Ilustrasi aliran turbulen (Helmizar, 2010)

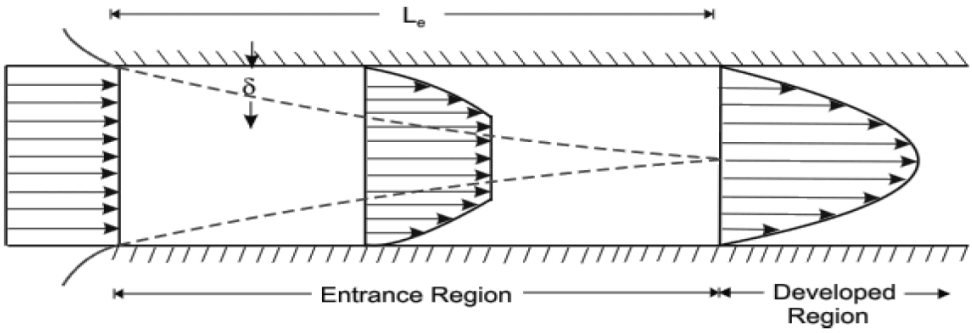
Ilustrasi proses perkembangan aliran yang terjadi di atas plat dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2. 18 Proses perkembangan aliran yang terjadi di atas plat (Helmizar, 2010)

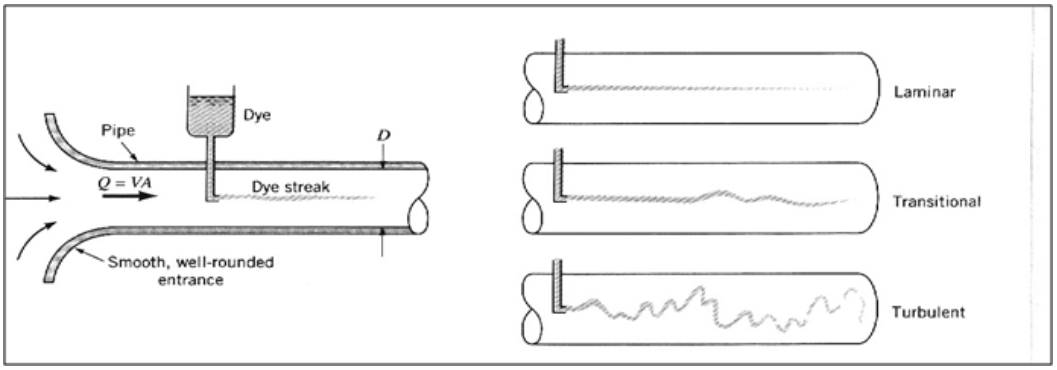
Distribusi kecepatan fluida di dalam pipa memiliki bentuk yang tidak teratur pada saat melewati ujung pada pipa karena aliran ini sedang berkembang, faktor yang sangat mempengaruhi aliran berkembang adalah panjang dari lintasan yang dilewati. Bentuk kontur akan terus berubah pada saat distribusi kecepatan terjadi.

Aliran yang sudah berkembang penuh maka distribusi kecepatan yang terjadi akan selalu sama pada inlet yang panjang. Ilustrasi aliran yang terjadi di dalam pipa dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2. 19 Ilustrasi aliran yang terjadi di dalam pipa (Helmizar, 2010)

Osborne Reynolds pernah melakukan eksperimen kecil untuk membedakan jenis-jenis aliran yaitu aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen dengan bahan dan alat yang sederhana. Ilustrasi dari perbedaan profil aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen dapat dilihat pada gambar 2.20.

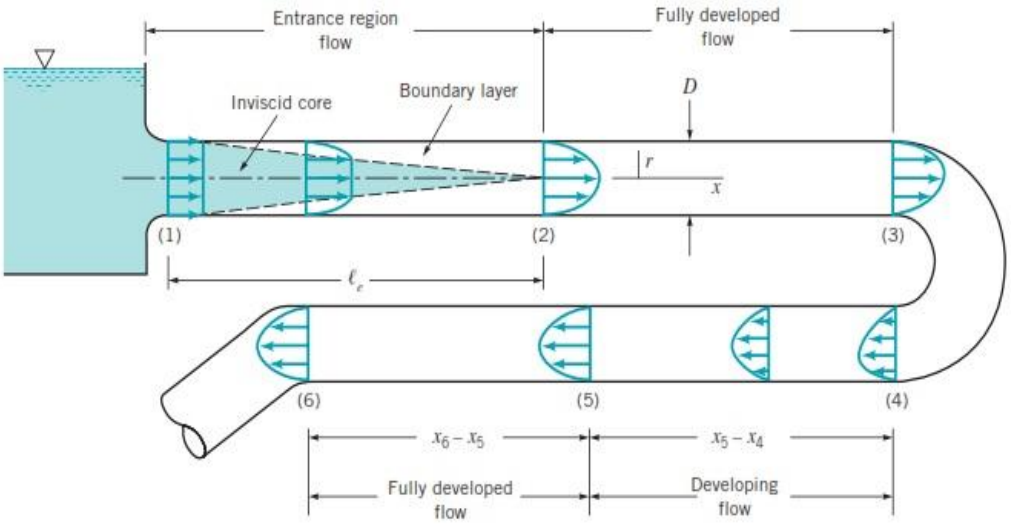


Gambar 2. 20 Ilustrasi perbedaan jenis aliran (Helmizar, 2010)

2.2.5 Daerah Masuk dan Aliran Berkembang Penuh

Daerah yang terdapat pada titik awal masuknya fluida pada pipa disebut dengan daerah masuk (*entrance region*) yang dapat dilihat pada gambar 2.21. Seperti yang terlihat pada gambar tersebut, fluida akan memasuki pipa dengan kecepatan yang sama atau seragam pada bagian yang ditunjukkan dengan angka 1. Saat fluida mulai mengalir melewati pipa maka efek viskos yang ada pada fluida akan menyebabkan fluida tersebut tetap menempel pada dinding pipa. Fenomena ini berlaku baik pada fluida cair seperti minyak yang memiliki viskositas yang tinggi ataupun pada fluida gas yang memiliki viskositas yang relatif invisid.

Sebuah lapisan batas akan timbul di seluruh dinding pipa, profil kecepatan awal berubah dengan panjang atau jarak tertentu hingga fluida sampai pada ujung terakhir dari panjang daerah masuk seperti yang terlihat gambar 2.21 yang ditunjukkan dengan angka 2 di mana pada saat itu fluida memiliki profil kecepatan yang relatif tidak berubah. Lapisan batas akan terus menebal hingga memenuhi pipa secara keseluruhan di mana efek viskos adalah hal yang penting pada lapisan ini. Efek viskos dapat diabaikan apabila fluida berada di luar lapisan batas yaitu berada pada inti *inviscid core* yang mengelilingi garis sumbu dari (1) ke (2). Bentuk dari profil kecepatan akan sangat tergantung dari pola aliran yang terjadi yaitu laminar, transisi dan turbulen.



Gambar 2. 21 Daerah masuk aliran berkembang dan aliran berkembang penuh (Helmizar, 2010)

Aliran antara (2) dan (3) disebut berkembang penuh (*fully developed*). Setelah gangguan atas aliran berkembang penuh pada bagian (4), aliran secara bertahap mulai kembali ke sifat berkembang penuh (5) dan terus dengan profil ini sampai komponen pipa berikutnya dicapai (6).

2.2.6 Angka Reynold

Jenis aliran fluida dapat diketahui melalui bilangan Reynolds (Re). Bilangan Reynolds tidak memiliki dimensi dan sangat berpengaruh pada aliran fluida. Persamaan dari bilangan Reynolds dapat dilihat pada persamaan 2.9.

$$Re = \frac{\rho \cdot D_{pipa} \cdot v}{\mu} \quad \text{..... (2.9)}$$

Keterangan:

v = Kecepatan Fluida (m/s)
D_{pipa} = Diameter Dalam Pipa (m)
ρ = Massa Jenis Fluida (kg/m³)
μ = Viskositas Dinamik Fluida (N.s/m²)

Profil aliran fluida laminar, transisi atau turbulen dapat diketahui melalui besar angka Reynolds yang terjadi pada aliran fluida saat mengalir di dalam pipa.

2.2.7 Debit Aliran (Q)

Debit adalah kecepatan aliran fluida yang menentukan besar volume fluida di dalam pipa per satuan waktu. Persamaan dari debit dapat dilihat pada persamaan 2.10.

$$Q = \frac{\pi}{4} . D_{pipa}{}^{2} . v \quad (2.10)$$

2.2.8 Kecepatan aliran fluida (v)

Kecepatan aliran fluida adalah besar kecepatan fluida untuk mengalir atau bergerak di dalam pipa per satuan luas. Persamaan dari kecepatan aliran fluida dapat dilihat pada persamaan 2.11.

$$v = \frac{Re \ . \ \mu}{\rho \ . \ D_{pipa}} = \frac{Q}{A} \quad (2.11)$$

Keterangan:

Q = Debit Aliran (m^3/s)
v = Kecepatan Fluida (m/s)
D_{pipa} = Diameter Dalam Pipa (m)
ρ = Massa Jenis Fluida (kg/m³)
Re = Bilangan Reynolds
μ = Viskositas Dinamik Fluida (kg/m.s) atau (N.s/m²)
A = Luas penampang (m^2)

2.2.9 Sistem Perpipaan

Pipa adalah media pemindah fluida tertutup yang umumnya memiliki penampang berbentuk lingkaran. Pipa umumnya digunakan untuk memindahkan fluida fasa cair atau gas dengan tekanan di atas tekanan atmosfer ataupun di bawah tekanan atmosfer. Pipa dikatakan berkerja dalam tekanan yang sama dengan atmosfer ketika fluida di dalam pipa tidak terisi secara penuh sehingga aliran yang terjadi menjadi aliran saluran terbuka karena fluida fasa cair memiliki permukaan bebas yang memiliki tekanan yang sama dengan tekanan atmosfer.

Aliran fluida yang memiliki kekentalan atau viskositas disebut dengan aliran viskos. Viskositas pada aliran fluida akan terjadi pada temperatur tertentu. Viskositas yang terdapat pada fluida fasa cair akan menimbulkan tegangan geser pada saat fluida tersebut mengalir yang akan berdampak pada perubahan sebagian energi aliran pada fluida menjadi energi panas, energi suara dan energi yang

lainnya. Berubahnya sebagian energi inilah yang akan mengakibatkan aliran fluida kehilangan energi. Viskositas kinematik pada fluida fasa cair dalam tekanan atmosfer dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Tabel propertis 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}

Terdapat 3 macam aliran viskos. Apabila aliran fluida memiliki kekentalan atau viskositas tinggi yang mengakibatkan aliran bergerak secara teratur melewati lintasannya dengan kecepatan lambat maka aliran tersebut disebut dengan aliran laminar dan ketika aliran fluida mulai berubah kekentalan menjadi lebih rendah bersamaan dengan kecepatan yang meningkat maka aliran ini disebut aliran transisi. Aliran fluida akan berubah menjadi aliran turbulen ketika kekentalan atau viskositas dari fluida rendah dengan kecepatan yang tinggi sehingga menyebabkan aliran fluida bergerak secara tidak teratur saat melewati lintasannya.

2.2.10 Koefisien gesek (f)

Tingkat kekasaran yang ada pada pipa dinilai sebagai faktor gesekan yang terjadi pada fluida saat mengalir. Faktor yang mempengaruhi besar koefisien gesek yang terjadi pada fluida di dalam pipa saat mengalir adalah kecepatan karena kecepatan pada aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen berbeda.

Berikut adalah beberapa persamaan koefisien gesek yang dapat digunakan untuk mengetahui besar koefisien gesek:

a. Persamaan Darcy-Weisbach (1857)

$$h_l = f.\frac{L}{D}.\frac{v^2}{2.g}$$

$$f = \frac{h_f.D.2.g}{L.v^2} \quad \text{.....(2.12)}$$

b. Persamaan koefisien gesek kondisi aliran transisi menurut Nikuradse (1937)

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.\log\left\{\frac{k}{3.7d} + \frac{2.51}{Re.\sqrt{\lambda}}\right\} \quad \text{..... (2.13)}$$

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

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2.\log\left\{\frac{\varepsilon}{D} + \frac{9.35}{Re.\sqrt{f}}\right\} \quad \text{.....(2.14)}$$

d. Persamaan koefisien gesek kondisi aliran transisi menurut Chen dan Ackland (1990)

$$f = f_L + [1 + \exp\left(\frac{1.68(2453 - Re)}{274}\right)]^{-1}\,[f_T - f_L] \quad \text{.....(2.15)}$$

e. Persamaan koefisien gesek kondisi aliran transisi menurut Garcia dkk., (2017)

$$f = \frac{\pi^2 \rho d^2 \Delta p}{32 G^2 l \rho} \quad \text{..... (2.16)}$$

f. Persamaan koefisien gesek kondisi aliran transisi menurut Draad dkk., (1998)

$$f = \frac{D}{L}\,\frac{\Delta p}{\frac{1}{2}.p.W^2} \quad \text{..... (2.17)}$$

g. Persamaan koefisien gesek kondisi aliran transisi menurut Amicis dkk, (2014)

$$f = \Delta p\,\frac{D}{L}\,\frac{2}{pU^2} \quad \text{.....(2.18)}$$

h. Persamaan koefisien gesek kondisi aliran laminar menurut Moody

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{.....(2.19)}$$

i. Persamaan koefisien gesek kondisi aliran turbulen menurut Moody

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2.\log\left\{\frac{\varepsilon}{D}\right\} \quad \text{.....(2.20)}$$

j. Persamaan koefisien gesek kondisi pipa halus menurut Moody

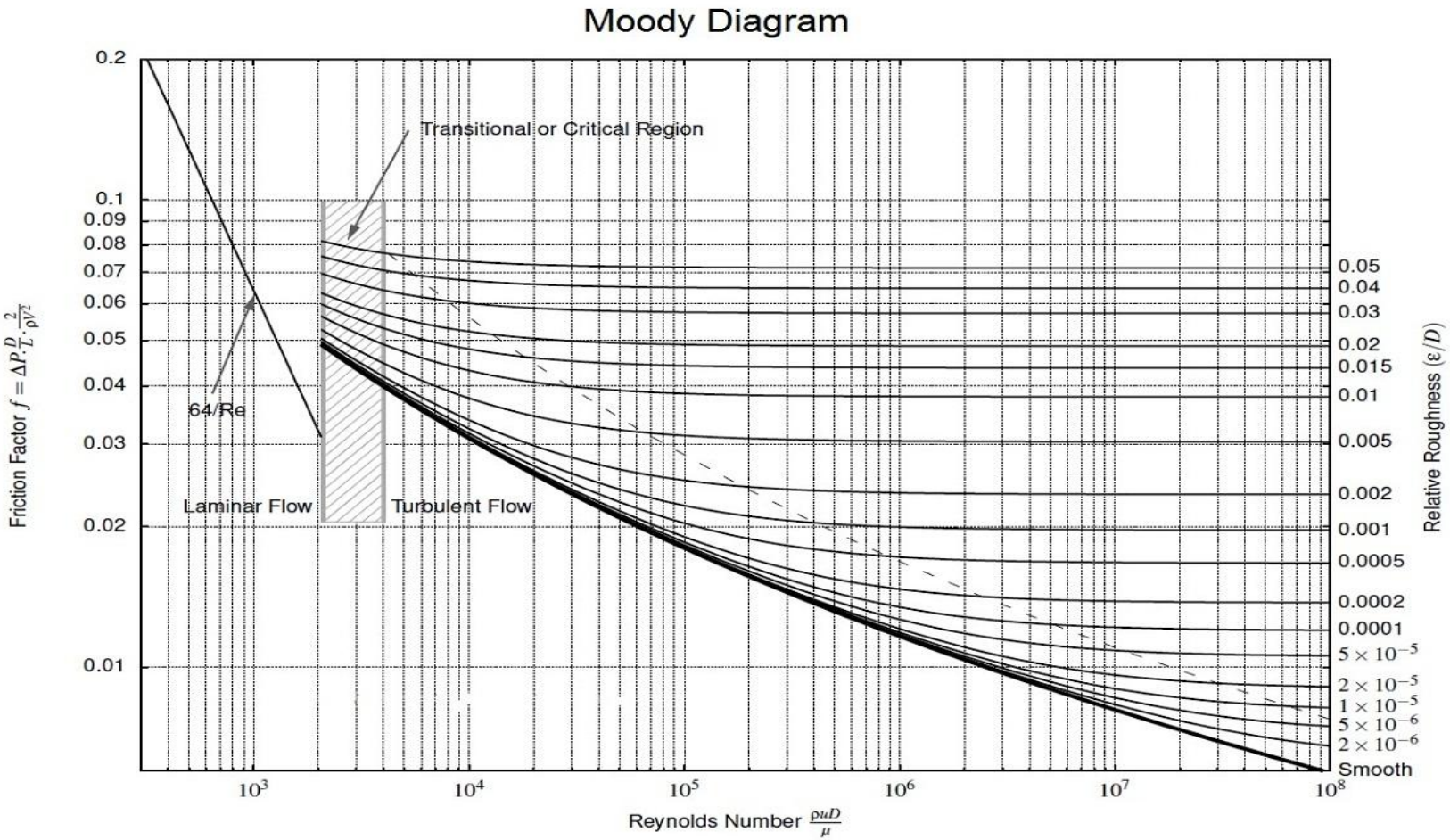
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.\log\{Re.\sqrt{f}\} - 0.8 \text{ .....(2.21)}$$

Keterangan:

f = Koefisien Gesek
ΔP = Selisih 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 (ε) mm
1.	Cooper, Brass	3,05 x 10^{-2}
2.	Wraught Iron, Steel	4,6 x 10^{-2}
3.	Coated Steel	5,5 x 10^{-2}
4.	Uncoated Steel	2,8 x 10^{-2}
5.	Wrought Iron	5 x 10^{-2}
6.	PVC	1,5 x 10^{-3}



Gambar 2. 22 Diagram Moody (Helmizar, 2010)

Diagram yang penting untuk menentukan faktor gesekan (f) yang terjadi pada bilangan Reynolds (Re) dan kekasaran relatif (ε/D) adalah Diagram Moody. Diagram Moody ini sangat berguna sebagai acuan peneliti saat melakukan penelitian mengenai alat ukur *head loss mayor*. Koefisien kekasaran pada pipa dan nilai kekasaran bahan dapat ditentukan melalui persamaan 2.12 sampai 2.21 dan tabel 2.3.

2.2.11 Head Rugi Gesek dalam Pipa *(Head Loss)*

Kehilangan energi yang terjadi di dalam pipa adalah suatu fenomena dari rugi-rugi aliran yang terjadi di dalam sistem perpipaan. Kerugian energi selalu terjadi di dalam sistem perpipaan saat memindahkan fluida cair ataupun fluida gas. Kerugian ini biasanya terjadi akibat pengaruh dari gesekan antara fluida dengan fluida ataupun lapisan dengan lapisan fluida dan elevasi pipa. Kehilangan energi biasanya paling besar terjadi pada fluida cair karena fluida cair memiliki sifat molekul yang lebih padat dibandingkan dengan sifat molekul dari fluida gas dan besar gesekan yang terjadi pada fluida cair lebih besar dibanding fluida gas terhadap lintasan yang dilewatinya, apabila lintasan yang dilewati fluida memiliki koefisien gesek yang besar maka gesekan yang terjadi pada fluida akan semakin besar. Kehilangan energi ini menyebabkan kerugian yang cukup besar pada aliran fluida dalam sistem perpipaan karena dapat menurunkan tekanan dari aliran fluida.

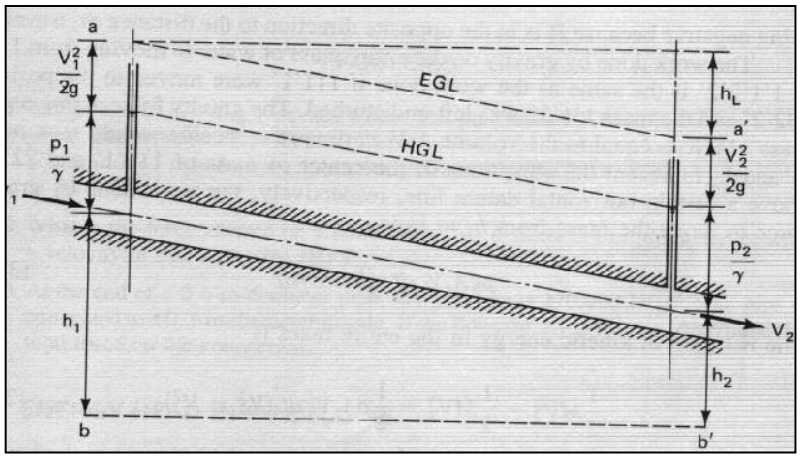
Faktor lain yang mempengaruhi besarnya kehilangan energi yang terjadi pada aliran fluida adalah kontruksi dari sistem perpipaan, apabila percabangan yang ada pada kontruksi sistem perpipaan semakin banyak maka kehilangan energi yang terjadi akan semakin besar, hal ini disebabkan karena gesekan yang terjadi pada fluida akan semakin besar. Gesekan yang terjadi pada aliran fluida ini akan mengakibatkan getaran, panas dan pengelupasan pada dinding pipa. Dampak lain dari gesekan pada fluida adalah memperberat kinerja pompa saat mengalirkan fluida sehingga akan memperbesar penggunaan energi yang dibutuhkan pompa saat berkerja. Arti fisik dari kehilangan energi dalam pipa adalah hilangnya energi mekanik persatuan massa fluida sehingga satuan dari kehilangan energi ini adalah

satuan panjang yang setara dengan satuan energi yang dibutuhkan untuk memindahkan satu satuan massa fluida setinggi satu satuan panjang yang bersesuaian.

Kehilangan energi yang terjadi di dalam pipa dibedakan menjadi 2 yaitu kehilangan mayor (*head loss mayor*) dan kehilangan minor (*head loss minor*). Perbedaan pada keduanya terletak pada faktor penyebab timbulnya gesekan.

2.2.11.1 Head Rugi Gesek Mayor (*Head Loss Mayor*)

Kehilangan Mayor (*Head Loss Mayor*) ini terjadi karena pengaruh gesekan yang terjadi pada penampang pipa. Tegangan geser dan gradien kecepatan akan terjadi di seluruh lintasan pada saat fluida cair mengalir di dalam bidang batas yang disebabkan karena adanya viskositas (kekentalan). Tegangan geser yang terjadi saat fluida cair mengalir akan menyebabkan hilangnya tenaga pada fluida saat proses pengaliran berlangsung.



Gambar 2. 23 Ilustrasi aliran fluida pada pipa lurus (Helmizar, 2010)

Gambar 2.23 menunjukkan bahwa kecepatan aliran yang terjadi di dalam pipa adalah tetap atau konstan sehingga memiliki percepatan sebesar 0 (nol). Tekanan yang terdapat pada penampang 1 dan penampang 2 adalah p_1 dan p_2 serta memiliki jarak sebesar ΔL. Persamaan yang menyatakan kehilangan mayor (*Head Loss Mayor*) dapat dilihat pada persamaan 2.22.

$$h_l = f.\frac{L}{D}.\frac{v^2}{2.g} \quad \text{.....(2.22)}$$

Keterangan:

h_l = *Head Loss Mayor* (m)
f = Koefisien Gesek
L = Panjang (m)
D_{pipa} = Diameter Dalam Pipa (m)
g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)
v = Kecepatan Aliran Fluida (m/s)
ΔP = Selisih Tekanan Pada Aliran Masuk dan Keluar (Pa)
ρ = Massa Jenis Fluida (kg/m³)
μ = Viskositas Dinamik Fluida (N.s/m²)

2.2.11.2 Head Rugi Gesek Minor (*Head Loss Minor*)

Adanya perubahan ukuran penampang, belokan, katup dan sambungan dapat menyebabkan terjadinya kehilangan energi yang terjadi di dalam pipa yang disebut dengan kehilangan minor (*head loss minor*). Kehilangan energi yang disebabkan oleh belokan pada pipa memiliki intensitas yang lebih besar dibandingkan kehilangan energi yang disebabkan oleh gesekan dinding pipa pada pipa lurus. Persamaan yang menyatakan kehilangan minor (*Head Loss Minor*) dapat dilihat pada persamaan 2.23.

$$h_{l.min} = K.\frac{V^2}{2.g} \quad \text{.....(2.23)}$$

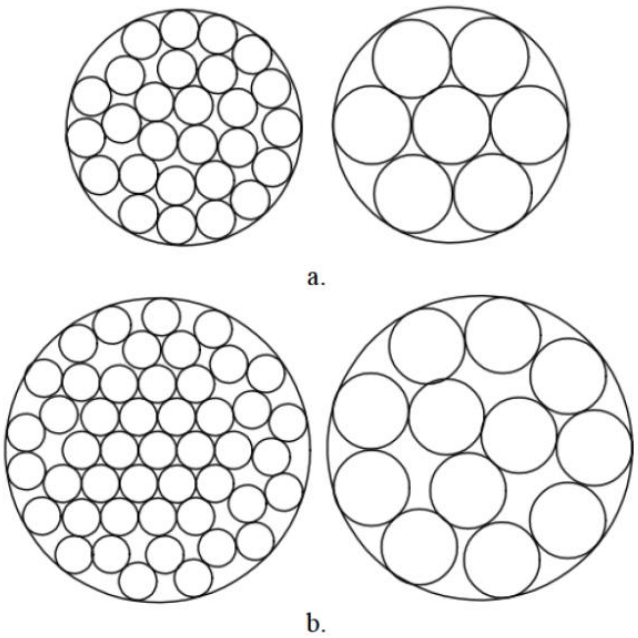
Keterangan:

$h_{f.min}$ = *Head Loss Minor*
K = Koefisien Tahanan *Head Loss Minor*
V = Kecepatan Fluida (m/s)
g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

2.2.12 Flow Conditioner

Menurut James (2014) aliran fluida selalu memiliki gangguan-gangguan yang menghambat aliran fluida tersebut di dalam instalasi pipa seperti turbulensi pada aliran fluida saat mengalir melewati lintasannya sehingga untuk mengurangi gangguan-gangguan tersebut maka digunakan alat pengatur aliran fluida yaitu *flow conditioner*. Alat ini berperan untuk mengisolasi gangguan-gangguan yang disebabkan oleh beberapa hal yaitu seperti pengaruh belokan, katup, perubahan luas penampang dan *orifice* dengan cara menghilangkan *vortex*. Aliran fluida yang partikel fluidanya akan berotasi pada aliran rotasinya terhadap titik pusat

disebut dengan *vortex*. *Vortex* yang terdapat pada aliran fluida akan berdampak pada penurunan tekanan yang besar yang disebabkan karena terjadinya separasi pada aliran fluida. Ilustrasi dari *flow conditioner* dapat dilihat pada gambar 2.24.



Gambar 2. 24 Ilustrasi *flow conditioner* (Helmizar, 2010)

2.2.13 Manometer air raksa

Manometer merupakan suatu alat ukur yang digunakan untuk mengetahui perbedaan tekanan pada dua titik berlawanan. Perbedaan ketinggian cairan pada manometer menunjukkan selisih tekanan. Jenis manometer sederhana kolom cairan yaitu manometer bentuk pipa U. Manometer ini biasanya diisi cairan setengahnya yang berupa minyak, air atau air raksa. Persamaan yang digunakan untuk menghitung perbedaan tekanan menggunakan manometer air raksa dapat dilihat pada persamaan 2.24.

$$\Delta P = \rho_{air\ raksa} \cdot g \cdot \Delta z \quad \text{.....(2.24)}$$

Keterangan:

ΔP = Perbedaan Tekanan (Pa)
$\rho_{air\ raksa}$ = Massa Jenis Fluida (kg/m³)
Δz = Selisih Ketinggian Manometer (m)