

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Definisi Fluida

Fluida dapat didefinisikan sebagai zat yang berubah bentuk secara kontinu bila terkena tegangan geser. Fluida mempunyai molekul yang terpisah jauh, gaya antarmolekul lebih kecil dibandingkan pada benda padat dan molekul-molekulnya lebih bebas bergerak, sehingga fluida lebih mudah terdeformasi. ^[4]

2.2 Sifat-sifat Fluida

Prinsip dasar ini menyangkut konsep-konsep penting aliran fluida, karena sifat-sifat fluida inilah yang mempengaruhi statika maupun dinamika dari fluida atau objek yang ada pada fluida tersebut.

2.2.1 Massa Jenis (*Density*)

Massa jenis sebuah fluida, dilambangkan dengan huruf Yunani ρ (*rho*), didefinisikan sebagai massa fluida per satuan volume. Massa jenis biasanya digunakan untuk mengkararakteristikkan massa sebuah sistem fluida.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

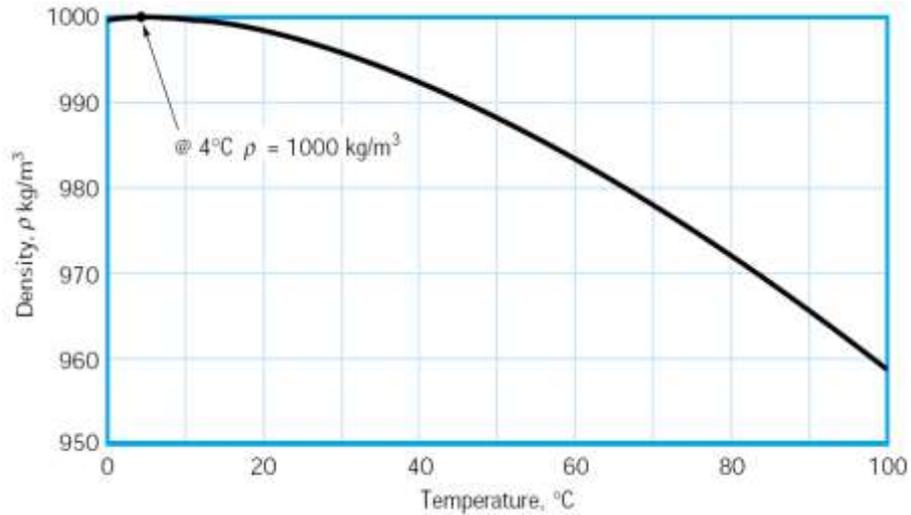
Keterangan:

ρ = massa jenis, kg/m³

m = massa, kg

V = volume, m³

Harga kerapatan suatu fluida cair berbeda dengan fluida lainnya, untuk cairan pengaruh tekanan dan temperatur sangat kecil terhadap harga kerapatan. ^[3]



Gambar 2.1 Grafik kerapatan air sebagai fungsi temperatur.

2.2.2 Volume Spesifik

Volume spesifik adalah volume per satuan massa dan oleh karena itu merupakan kebalikan dari massa jenis (kerapatan).

$$\nu = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (2.2)$$

Keterangan:

ν = volume spesifik, m³/kg

V = volume, m³

m = massa, kg

Sifat ini tidak biasa digunakan dalam mekanika fluida, tetapi digunakan dalam termodinamika. [3]

2.2.3 Berat Spesifik

Berat spesifik dari sebuah fluida, dilambangkan dengan huruf yunani γ (*gamma*), didefinisikan sebagai berat fluida per satuan volume. Berat jenis berhubungan dengan kerapatan melalui persamaan:

$$\gamma = \rho g \quad (2.3)$$

Keterangan:

γ = berat spesifik, N/m³

ρ = massa jenis (kerapatan), kg/m³

g = percepatan gravitasi, m/s²

Seperti halnya kerapatan yang digunakan untuk mengkarakteristikan massa sebuah sistem fluida, berat spesifik digunakan untuk mengkarakteristikan berat dari sistem tersebut. [3]

2.2.4 Gravitasi Spesifik (*Specific Gravity*)

Gravitasi spesifik sebuah fluida, dilambangkan sebagai SG. Didefinisikan sebagai perbandingan kerapatan fluida tersebut dengan kerapatan air pada temperatur tertentu. Biasanya temperatur tersebut adalah 4°C, dan pada temperatur ini kerapatan air adalah 1000kg/m³. [3]

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

SG = gravitasi spesifik

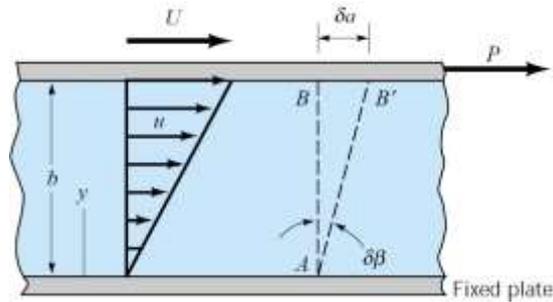
ρ = kerapatan fluida, kg/m³

ρ_{H_2O} = kerapatan air pada temperatur tertentu, kg/m³

2.2.5 Kekentalan (*viscosity*)

Kekentalan atau viskositas adalah sifat fluida yang mendasari diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut. Jadi, viskositas disebabkan oleh gesekan secara molekular antarpartikel fluida. Menurut hukum *Newton* untuk aliran dalam pelat sejajar adalah:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.5)$$



Gambar 2.2 Perilaku sebuah fluida yang ditempatkan antara dua pelat paralel.

Faktor konstanta μ adalah properti dari fluida yang dinamakan dengan viskositas dinamik. Hubungan antara viskositas kinematik dengan viskositas dinamik.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.6)$$

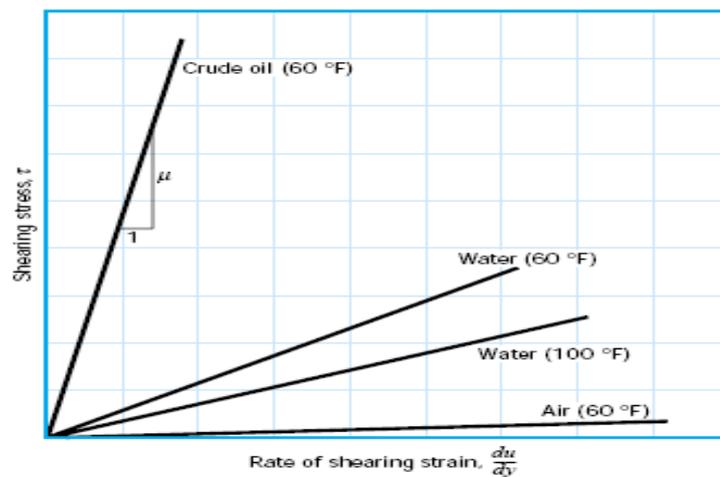
Keterangan:

ν = viskositas kinematik, m^2/s

μ = viskositas dinamik, $kg/m.s$

ρ = massa jenis, kg/m^3

Persamaan diatas disebut sebagai viskositas kinematik dan dilambangkan dengan huruf Yunani ν (nu).^[3]



Gambar 2.3 Variasi garis kurva linier dari tegangan geser terhadap laju regangan geser untuk fluida umum.

2.3 Persamaan Kontinuitas

Jika suatu fluida mengalir dengan aliran *steady* atau kondisi ideal, maka persamaannya adalah sebagai berikut: ^[3]

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2.7)$$

Keterangan:

Q = debit aliran fluida, m³/s

A_1 = luas penampang masuk batas sistem, m²

v_1 = kecepatan aliran masuk batas sistem, m/s

A_2 = luas penampang keluar batas sistem, m²

v_2 = kecepatan aliran keluar batas sistem, m/s

2.4 Persamaan Bernoulli

Ada hubungan antara tekanan, kecepatan, dan ketinggian. Ditunjukkan dengan persamaan:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = \text{konstan} \quad (2.8)$$

Persamaan ini dikenal sebagai persamaan Bernoulli untuk aliran inkompresibel, berlaku sepanjang garis arus, atau jika aliran irrotasional berlaku pada semua titik dalam medan aliran. ^[2]

2.5 Aliran Inkompresibel di Dalam Saluran

Aliran fluida dalam pipa dapat bersifat laminar, transisi, dan turbulen. Parameter yang digunakan untuk mengetahui jenis aliran tersebut adalah bilangan Reynolds (Re).

$$\text{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2.9)$$

Keterangan:

ρ = massa jenis, kg/m³

v = kecepatan rata-rata, m/s

D = diameter, m

μ = viskositas dinamik, kg/m.s

1. Aliran Laminer

Aliran fluida yang mengikuti suatu garis lurus atau melengkung yang jelas ujung dan pangkalnya serta tidak ada garis lurus yang bersilangan (lapisan fluida yang teratur). Dalam aliran laminar ini, viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan. Sehingga aliran laminar memenuhi hukum viskositas *Newton*.

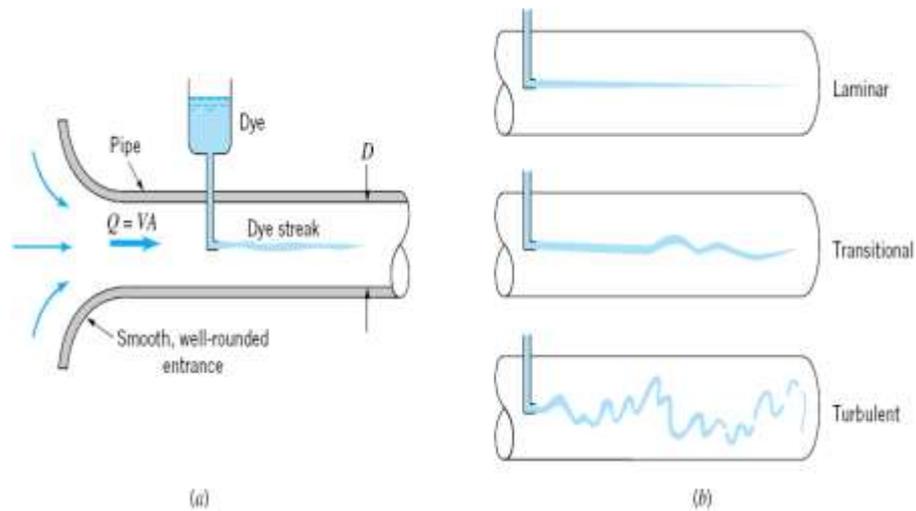
2. Aliran Turbulen

Aliran fluida yang ditandai dengan adanya aliran berputar dan arah gerak partikelnya berbeda, bahkan berlawanan dengan arah gerak keseluruhan fluida. Dalam keadaan aliran turbulen, maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran.

3. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Konsep dasar bilangan Reynolds, merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran itu dinamakan laminar, transisi atau turbulen.

Bilangan Reynolds adalah bilangan yang tidak berdimensi. Titik kritis aliran inkompresibel di dalam saluran adalah $2300 \leq Re \leq 4000$. Jika suatu aliran memiliki bilangan $Re < 2300$ maka disebut aliran laminar, dan jika bilangan $Re > 4000$ disebut aliran turbulen. ^[4]



Gambar 2.4 (a) Percobaan untuk mengetahui jenis aliran, (b) Jenis-jenis aliran dilihat pada *dye streak*.

2.6 Head Loss

Head loss terbagi menjadi dua macam, yaitu *head loss mayor* dan *head loss minor*. *Head loss total* merupakan penjumlahan dari *head loss mayor* dan *head loss minor*.^[2]

2.6.1 Head Loss Mayor

Head loss mayor dapat terjadi karena adanya gesekan antara aliran fluida yang mengalir dengan suatu dinding permukaan dalam pipa. Pada umumnya *head loss* ini dipengaruhi oleh panjang pipa. Untuk dapat menghitung *head loss mayor*, perlu diketahui lebih jelas awal jenis aliran fluida yang mengalir. Jenis aliran tersebut dapat diketahui melalui turunan dari persamaan bilangan Reynold sehingga menjadi persamaan berikut:

$$Re = \frac{4 \rho Q}{\mu \pi D} \quad (2.10)$$

Keterangan:

Q = Debit aliran fluida, m^3/s

ρ = massa jenis fluida, kg/m^3

D = diameter pipa, m

μ = viskositas fluida, $kg/m.s$

Perhitungan *head loss mayor* menurut Darcy Weisbach dapat dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$H_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.11)$$

Keterangan:

H_f = *head loss mayor*, m

f = faktor gesekan (dapat diketahui melalui diagram *Moody*)

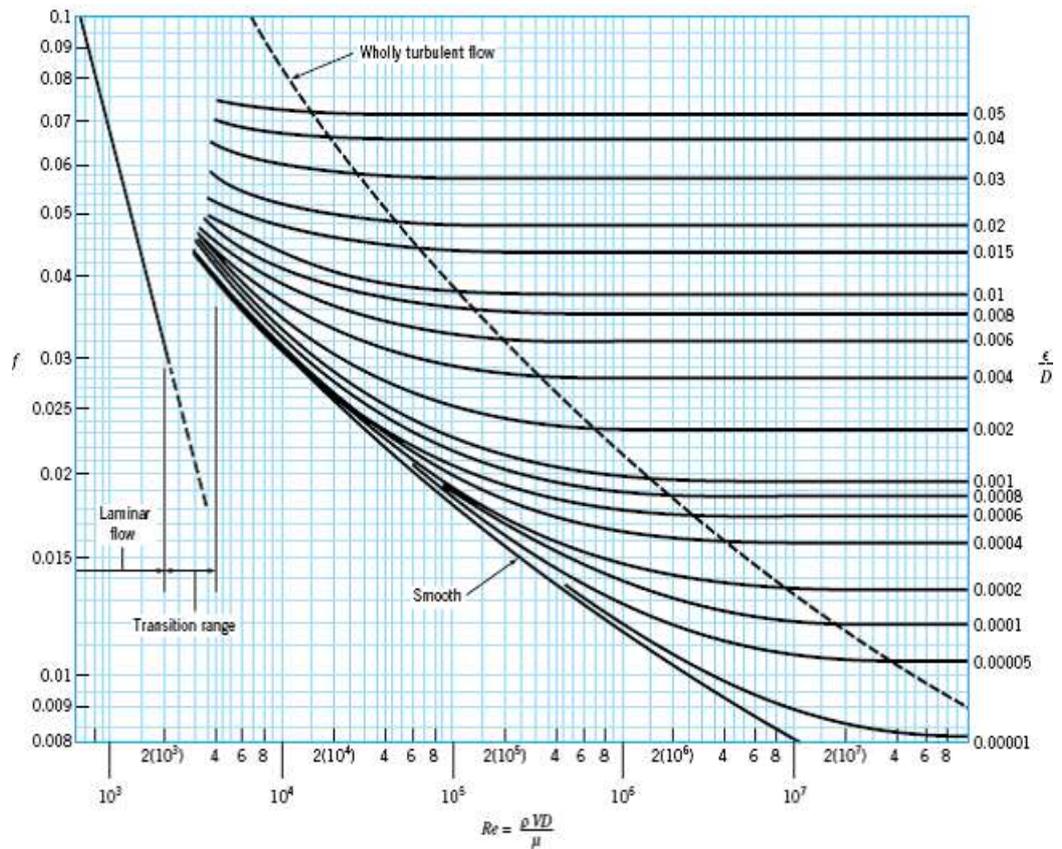
L = panjang pipa, m

D = diameter pipa, m

V = kecepatan aliran, m/s

g = percepatan gravitasi, m/s^2

Faktor gesekan (atau f) digunakan dalam persamaan Darcy Weisbach. Koefisien ini dapat diperkirakan dengan diagram dibawah ini:



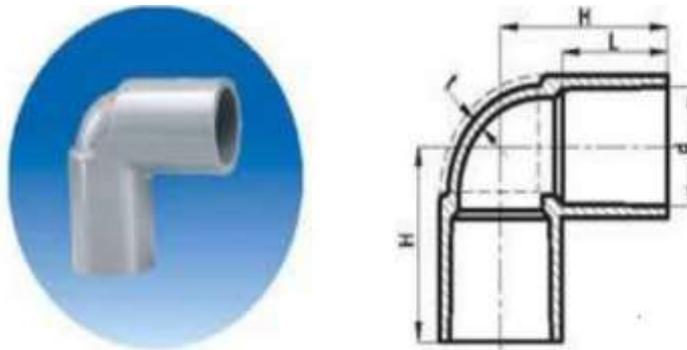
Gambar 2.5 Diagram Moody.

2.6.2 Head Loss Minor

Head loss minor dapat terjadi karena adanya sambungan pipa (*fitting*) seperti katup (*valve*), belokan (*elbow*), saringan (*strainer*), percabangan (*tee*), *losses* pada bagian *entrance*, *losses* pada bagian *exit*, pembesaran pipa (*expansion*), pengecilan pipa (*contraction*), dan sebagainya. ^[5]

a. Elbow

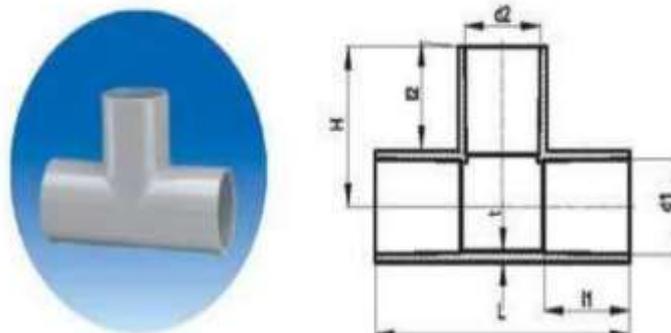
Elbow atau belokan merupakan suatu sambungan yang sering digunakan pada suatu sistem perpipaan. ^[5]



Gambar 2.6 Regular flanged elbow 90°.

b. Percabangan (*Tee*)

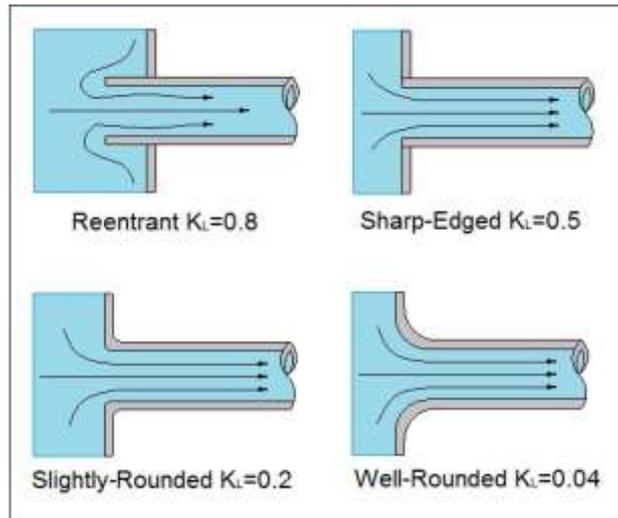
Penggunaan *Tee* dilakukan untuk mengalirkan aliran fluida menuju dua arah yang berbeda dalam satu siklus tertentu yang dipasang secara parallel. ^[5]



Gambar 2.7 Line flow flanged Tee.

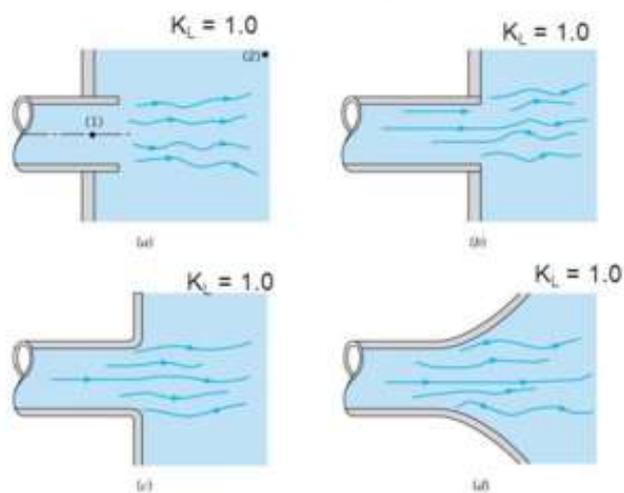
c. *Entrance* dan *Exit*

Entrance seringkali timbul pada saat perpindahan dari pipa menuju suatu *reservoir*. Berdasarkan jenisnya, *entrance* dapat dibedakan menjadi 4 macam yaitu *reentrant*, *square edge*, *slightly rounded* dan *well rounded*.^[5]



Gambar 2.8 Macam-macam *entrance*.

Exit merupakan kebalikan dari *entrance*. *Exit* timbul karena adanya perpindahan dari *reservoir* menuju ke suatu pipa, sama halnya dengan *entrance*.^[5]



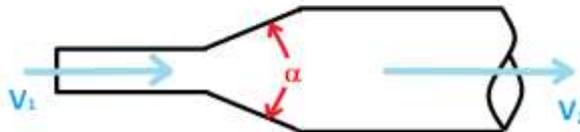
Gambar 2.9 Macam-macam *exit*: (a) *projecting*, (b) *sharp edge*, (c) *slight rounded*, dan (d) *well rounded*.

d. Pembesaran (*Expansion*)

Pembesaran dalam suatu perpipaan dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu pembesaran mendadak atau terjadi secara tiba-tiba yang seringkali disebut dengan *sudden expansion* ataupun *gradual expansion*.^[5]



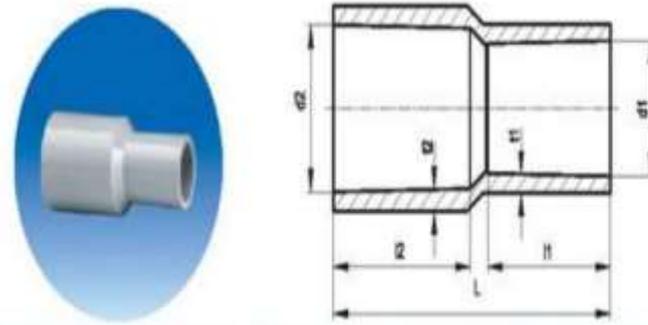
Gambar 2.10 *Sudden expansion*.



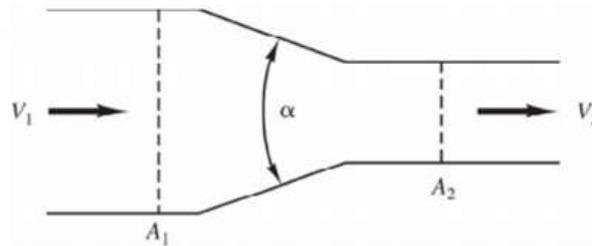
Gambar 2.11 *Gradual expansion*.

e. Pengecilan (*Contraction*)

Sama halnya dengan *expansion*, *contraction* juga dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu *sudden contraction* (pengecilan secara tiba-tiba), dan *gradual contraction* (pengecilan secara bertahap).^[5]



Gambar 2.12 *Sudden contraction.*



Gambar 2.13 *Gradual contraction.*

f. Katup (*Valve*)

Valve atau katup adalah sebuah perangkat yang terpasang pada sistem perpipaan, yang berfungsi untuk mengatur, mengontrol dan mengarahkan laju aliran fluida dengan cara membuka, menutup atau menutup sebagian katup pada *valve* tersebut dengan cara diputar. ^[5]



Gambar 2.14 *Valve.*

Head loss minor dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$H_m = k \frac{V^2}{2g} \quad (2.12)$$

Keterangan:

- V = kecepatan fluida, m/s
- k = koefisien *minor losses*
- g = percepatan gravitasi, m/s^2

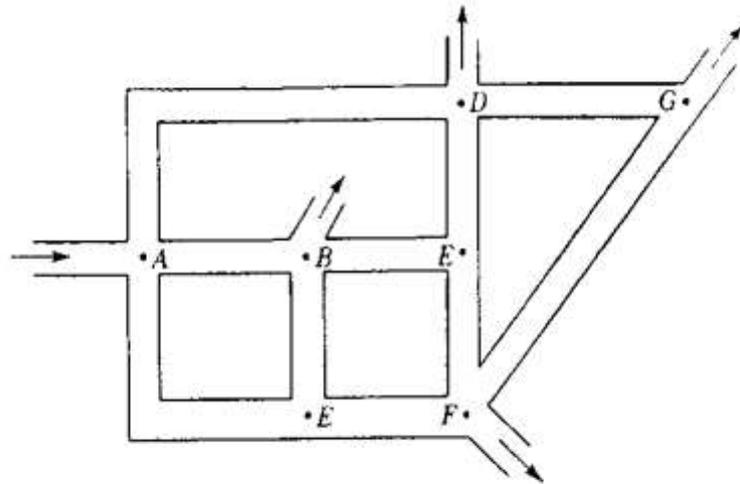
Sistem perpipaan biasanya terdiri dari beberapa komponen seperti katup, belokan, percabangan dan sebagainya yang dapat menambah *head loss* sistem pipa. Kerugian *head* melalui komponen sistem pipa tersebut disebut kerugian minor (*minor losses*). Sedangkan kerugian gesekan di sepanjang pipa disebut kerugian mayor (*mayor losses*). “k” adalah koefisien kerugian minor, harga k bergantung pada jenis komponen sistem perpipaan seperti katup, sambungan, belokan, sisi masuk, sisi keluar, dan sebagainya.

Tabel 2.1 Koefisien kerugian minor untuk komponen pipa *pvc* didapatkan dari *software*.

Komponen PVC ANSI Sch 40	Nilai K
<i>Regular flanged elbow 90°</i>	0,81
<i>line flow Flanged Tee</i>	0,54
<i>Ball Valve</i>	2,6
<i>Gradual Contraction</i>	1,63

2.7 Metode Hardy Cross

Analisis untuk kasus jaringan pipa dikembangkan oleh Hardy Cross, metoda ini dapat digunakan untuk menentukan *head loss* di setiap pipa dalam jaringan. Penyediaan air bersih yang direncanakan dengan sistem jaringan utama, sedangkan sistem jaringan yang digunakan adalah sistem jaringan melingkar (*Loop*) tertutup. Pola jaringan ini dimaksudkan agar pipa-pipa distribusinya saling berhubungan, air mengalir dalam banyak arah, dan area konsumen disuplai melalui banyak jalur pipa utama. ^[6]



Gambar 2.15 Jaringan pipa. ^[6]

Syarat kondisi untuk metoda Hardy Cross adalah debit dalam jaringan pipa harus memenuhi hubungan dasar dari prinsip energi dan kontinuitas, yaitu:

1. Debit aliran yang masuk ke dalam sistem jaringan pipa harus sama dengan debit aliran yang keluar dari sistem jaringan pipa.
2. Debit aliran yang mengalir ke sebuah titik pertemuan (*node*) harus sama dengan nol atau laju aliran ke arah suatu titik pertemuan harus sama dengan nol.
3. Jumlah total *head loss* pada tiap *loop* tertutup harus sama dengan nol. ^[1]

Langkah-langkah metoda Hardy Cross adalah sebagai berikut:

1. Mengasumsikan besar dan arah debit aliran pada tiap pipa dengan berpedoman pada syarat 1.
2. Menentukan *loop* tertutup pada sistem jaringan pipa.
3. Menghitung *head loss* pada setiap loop dalam sistem jaringan pipa. Aliran yang searah jarum jam bernilai (+) dan yang berlawanan arah jarum jam bernilai (-).
4. Menghitung total *head loss* per laju aliran, h_f/Q untuk setiap pipa dan menentukan jumlah aljabar dari perbandingan tersebut untuk tiap *loop*.

5. Menentukan koreksi aliran debit untuk tiap *loop* dengan rumus

$$\Delta Q = \frac{\sum h_i}{1,85 \sum h_i / Q} \quad (2.13)$$

Koreksi ini diberikan pada setiap pipa dalam *loop* dengan ketentuan ditambahkan untuk aliran yang searah jarum jam dan di kurangkan untuk aliran yang berlawanan dengan jarum jam. Untuk pipa yang digunakan secara bersama dengan *loop* lain, koreksi aliran untuk pipa tersebut adalah harga total dari koreksi-koreksi untuk kedua *loop*.

6. Ulangi langkah 3-5 hingga perubahan aliran = 0 atau mendekati 0 apabila koreksi aliran pada tiap *loop* masih jauh dari 0. (apabila nilai koreksi debit sudah 10^{-5} , maka tidak perlu dilakukan lagi iterasi karena sudah dianggap mendekati 0) ^[1]

2.8 Standar Pipa

Tabel 2.2 Number pipe standard 1/8" – 3 1/2".

NPS ^[1]	DN ^[2]	OD [in (mm)]	Wall thickness [in (mm)]							
			SCH 5s	SCH 10s/20	SCH 30	SCH 40s/40 /STD	SCH 80s/80 /XS	SCH 120	SCH 160	XXS
½	6	0.404 (10.26)	0.035 (0.889)	0.049 (1.245)	0.057 (1.448)	0.068 (1.727)	0.095 (2.413)	—	—	—
¾	8	0.540 (13.72)	0.049 (1.245)	0.065 (1.651)	0.073 (1.854)	0.088 (2.235)	0.119 (3.023)	—	—	—
1	10	0.675 (17.15)	0.049 (1.245)	0.065 (1.651)	0.073 (1.854)	0.091 (2.311)	0.126 (3.200)	—	—	—
1½	15	0.840 (21.34)	0.065 (1.651)	0.083 (2.108)	0.095 (2.413)	0.109 (2.769)	0.147 (3.734)	—	0.188 (4.775)	0.294 (7.468)
2	20	1.050 (26.67)	0.065 (1.651)	0.083 (2.108)	0.095 (2.413)	0.113 (2.870)	0.154 (3.912)	—	0.219 (5.563)	0.308 (7.823)
2½	25	1.315 (33.40)	0.065 (1.651)	0.109 (2.769)	0.114 (2.896)	0.133 (3.378)	0.179 (4.547)	—	0.250 (6.350)	0.358 (9.093)
3	32	1.660 (42.16)	0.065 (1.651)	0.109 (2.769)	0.117 (2.972)	0.140 (3.556)	0.191 (4.851)	—	0.250 (6.350)	0.382 (9.703)
3½	40	1.900 (48.26)	0.065 (1.651)	0.109 (2.769)	0.125 (3.175)	0.145 (3.683)	0.200 (5.080)	—	0.281 (7.137)	0.400 (10.160)
4	50	2.375 (60.33)	0.065 (1.651)	0.109 (2.769)	0.125 (3.175)	0.154 (3.912)	0.218 (5.537)	0.250 (6.350)	0.344 (8.738)	0.436 (11.074)
4½	65	2.875 (73.03)	0.083 (2.108)	0.120 (3.048)	0.188 (4.775)	0.203 (5.156)	0.276 (7.010)	0.300 (7.620)	0.375 (9.525)	0.552 (14.021)
5	80	3.500 (88.90)	0.083 (2.108)	0.120 (3.048)	0.188 (4.775)	0.216 (5.486)	0.300 (7.620)	0.350 (8.890)	0.436 (11.125)	0.600 (15.240)
5½	90	4.000 (101.60)	0.083 (2.108)	0.120 (3.048)	0.188 (4.775)	0.226 (5.740)	0.318 (8.077)	—	—	0.636 (16.154)

Tabel 2.3 Number pipe standard 4” – 9”.

NPS ^[1]	DN ^[2]	OD [in (mm)]	Wall thickness [in (mm)]											
			SCH 5	SCH 10s/10	SCH 20	SCH 30	SCH 40s/40 /STD	SCH 60	SCH 80s/80 /XS	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160	XXS ^[3]
4	100	4.500 (114.30)	0.083 (2.108)	0.120 (3.048)	—	0.188 (4.775)	0.237 (6.020)	—	0.337 (8.560)	0.437 (11.100)	—	0.531 (13.487)	0.674 (17.120)	
4½	115	5.000 (127.00)	—	—	—	—	0.247 (6.274)	—	0.355 (9.017)	—	—	—	—	0.710 (18.034)
5	125	5.563 (141.30)	0.109 (2.769)	0.134 (3.404)	—	—	0.258 (6.553)	—	0.375 (9.525)	—	0.500 (12.700)	—	0.625 (15.875)	0.750 (19.050)
6	150	6.625 (168.28)	0.109 (2.769)	0.134 (3.404)	—	—	0.200 (7.112)	—	0.432 (10.973)	—	0.562 (14.275)	—	0.719 (18.263)	0.864 (21.946)
7	—	7.625 (193.68)	—	—	—	—	0.301 (7.645)	—	0.500 (12.700)	—	—	—	—	0.875 (22.225)
8	200	8.625 (219.08)	0.109 (2.769)	0.148 (3.759)	0.250 (6.350)	0.277 (7.036)	0.322 (8.179)	0.406 (10.312)	0.500 (12.700)	0.593 (15.062)	0.719 (18.263)	0.812 (20.625)	0.875 (22.225)	
9	—	9.625 (244.48)	—	—	—	—	0.342 (8.687)	—	0.500 (12.700)	—	—	—	—	

Tabel 2.4 Number pipe standard 10” - 24”.

NPS ^[1]	DN ^[2]	OD [in (mm)]	Wall thickness [in (mm)]						
			SCH 5s	SCH 5	SCH 10s	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH STD/40S
10	250	10.75 (273.05)	0.134 (3.404)	0.134 (3.404)	0.165 (4.191)	0.165 (4.191)	0.250 (6.350)	0.307 (7.798)	0.365 (9.271)
12	300	12.75 (323.85)	0.156 (3.962)	0.156 (3.962)	0.188 (4.775)	0.188 (4.775)	0.250 (6.350)	0.330 (8.382)	0.375 (9.525)
14	350	14.00 (355.60)	0.156 (3.962)	0.156 (3.962)	0.188 (4.775)	0.250 (6.350)	0.312 (7.925)	0.375 (9.525)	0.375 (9.525)
16	400	16.00 (406.40)	0.165 (4.191)	0.165 (4.191)	0.188 (4.775)	0.250 (6.350)	0.312 (7.925)	0.375 (9.525)	0.375 (9.525)
18	450	18.00 (457.20)	0.165 (4.191)	0.165 (4.191)	0.188 (4.775)	0.250 (6.350)	0.312 (7.925)	0.437 (11.100)	0.375 (9.525)
20	500	20.00 (508.00)	0.188 (4.775)	0.188 (4.775)	0.218 (5.537)	0.250 (6.350)	0.375 (9.525)	0.500 (12.700)	0.375 (9.525)
22	550	22.00 (558.80)	0.188 (4.775)	0.188 (4.775)	0.218 (5.537)	0.250 (6.350)	0.375 (9.525)	0.500 (12.700)	0.375 (9.525)
24	600	24.00 (609.60)	0.218 (5.537)	0.218 (5.537)	0.250 (6.350)	0.250 (6.350)	0.375 (9.525)	0.562 (14.275)	0.375 (9.525)

Tabel 2.4 Number pipe standard 10” – 24”.

NPS ^[1]	DN ^[2]	Wall thickness [in (mm)]							
		SCH 40	SCH 60	SCH 80s/XS	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160
10	250	0.365 (9.271)	0.500 (12.700)	0.500 (12.700)	0.593 (15.062)	0.718 (18.237)	0.843 (21.412)	1.000 (25.400)	1.125 (28.575)
12	300	0.406 (10.312)	0.562 (14.275)	0.500 (12.700)	0.687 (17.450)	0.843 (21.412)	1.000 (25.400)	1.125 (28.575)	1.312 (33.325)
14	350	0.437 (11.100)	0.593 (15.062)	0.500 (12.700)	0.750 (19.050)	0.937 (23.800)	1.093 (27.762)	1.250 (31.750)	1.406 (35.712)
16	400	0.500 (12.700)	0.656 (16.662)	0.500 (12.700)	0.843 (21.412)	1.031 (26.187)	1.218 (30.937)	1.437 (36.500)	1.593 (40.462)
18	450	0.562 (14.275)	0.750 (19.050)	0.500 (12.700)	0.937 (23.800)	1.156 (29.362)	1.375 (34.925)	1.562 (39.675)	1.781 (45.237)
20	500	0.593 (15.062)	0.812 (20.625)	0.500 (12.700)	1.031 (26.187)	1.280 (32.512)	1.500 (38.100)	1.750 (44.450)	1.968 (49.987)
22	550	—	0.875 (22.225)	0.500 (12.700)	1.125 (28.575)	1.375 (34.925)	1.625 (41.275)	1.875 (47.625)	2.125 (53.975)
24	600	0.687 (17.450)	0.968 (24.587)	0.500 (12.700)	1.218 (30.937)	1.531 (38.887)	1.812 (46.025)	2.062 (52.375)	2.343 (59.512)