

# PERHITUNGAN LAJU ALIRAN FLUIDA PADA JARINGAN PIPA

Lutfi Nurcholis \*)

## Abstrak

Perhitungan laju aliran fluida ini bertujuan untuk mengetahui debit aliran yang melalui masing-masing pipa dan mengetahui kerugian head setiap junction untuk masing-masing panjang pipa dalam jaringan pipa. Jaringan pipa ini membentuk suatu loop tertutup dengan jumlah loop dua buah. Diasumsikan aliran searah jarum jam adalah positif dan berlawanan arah jarum jam dinyatakan negatif. Analisis jala-jala kerja pipa pada penelitian ini menggunakan metode Hardy Cross. Metode Hardy Cross didasarkan dengan prosedur secara iterasi. Langkah pertama perhitungan adalah dengan mengasumsikan debit aliran keluar untuk setiap percabangan. Pada setiap percabangan debit aliran tersebut harus memenuhi kriteria kontinuitas. Debit aliran yang ditetapkan dalam langkah pertama adalah merupakan debit pendekatan yang belum tentu benar, sehingga diperlukan koreksi guna memperbaiki debit tersebut yang akhirnya sampai pada debit yang akurat. Proses pendekatan dihentikan sampai perhitungan memberikan nilai debit koreksi ( $\Delta Q$ ) kecil yaitu kurang dari 5% debit terkecil. Hasil dari perhitungan menunjukkan bahwa hubungan antara kehilangan tenaga dan debit aliran yaitu debit aliran semakin besar dengan koefisien rugi head tinggi, maka rugi head pada setiap panjang pipa semakin besar.

Kata kunci : jaringan pipa, metode hardy-cross, head loss

## 1. PENDAHULUAN

Percabangan pipa banyak digunakan dalam sistem perpipaan di industri, pertambangan, dan distribusi air minum. Rangkaian pipa-pipa tersebut didesain sedemikian rupa sehingga mampu memenuhi kebutuhan akan pendistribusian fluida. Berbagai jenis dan sudut percabangan pipa dalam sistem perpipaan akan menghasilkan distribusi aliran yang berbeda-beda.

Bingham dan Blair (1985) melakukan pengujian pipa bercabang tiga pada kondisi aliran steady dengan memvariasikan sudut untuk menentukan rugi tekanan untuk masing-masing percabangan. Sedangkan penelitian Hagar (1984) menyatakan bahwa pada perbedaan rugi tekanan pada pipa utama dengan pipa pemisah yang disebabkan oleh perbedaan luas penampang aliran yang melewati masing-masing saluran. Luas penampang aliran pipa pemisah tergantung pada besar sudut pipa pemisah tersebut. Basset dkk. (1998) melakukan pengujian dan simulasi tekanan pada pipa bercabang tiga dengan sudut percabangan  $90^0$ , untuk model tekanan percabangan sama dan tekanan percabangan berbeda. Penelitian yang lebih lengkap dilakukan oleh Basset, dkk (2001) menghitung koefisien rugi tekanan untuk pipa percabangan antara titik masuk dan keluar percabangan, yang dijelaskan dalam bentuk kurva hubungan antara rasio aliran massa dengan koefisien rugi tekanan stagnasi.

\*) Staf Pengajar Jurusan Mesin UNIMUS



Penelitian ini dilakukan baik untuk jenis pengumpulan aliran maupun pemisahan aliran. Irsyad (2005) menemukan bahwa pengaruh sudut percabangan terhadap rasio distribusi aliran tidak terlalu besar, dimana kenaikan rasio debit aliran ( $Q_2/Q_1$ ) antara sudut percabangan  $15^\circ$  dan  $90^\circ$  adalah 0,075.

Perhitungan ini diharapkan dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah distribusi aliran pada jaringan pipa. Tujuan yang ingin dicapai pada perhitungan ini adalah untuk mengetahui besarnya laju aliran fluida pada jaringan pipa.

## 2. TELAHAH PUSTAKA

Dari beberapa metode yang telah dikembangkan untuk analisis jaringan pipa, diantaranya adalah metode keseimbangan head. Metode keseimbangan head adalah metode yang paling awal digunakan untuk analisis jaringan pipa. Metode keseimbangan head dipakai untuk sistem pipa yang membentuk *loop* tertutup. Dengan metode keseimbangan head laju aliran pipa diasumsikan memenuhi kebutuhan setiap jaring (*loop*), dan setiap percabangan laju aliran tersebut harus memenuhi kriteria kontinuitas. Laju aliran berturut-turut disesuaikan dari satu *loop* dengan *loop* yang lain, sampai laju aliran tiap-tiap *loop* dicukupi dalam suatu toleransi kecil yang telah ditetapkan (Cross, 1936).

Analisis suatu jaringan distribusi air membutuhkan solusi dari persamaan non linier. Metode yang digunakan semuanya adalah iterasi dan membutuhkan penghitungan asumsi yang logis untuk menjangkau masalah dengan cepat. Di dalam studi ini suatu perluasan hambatan (*perturbation*) diberlakukan bagi persamaan non linier untuk memperoleh satu rangkaian persamaan non linier yang dapat dipecahkan dengan mudah menggunakan metode matrik.

Metode dari solusi ini adalah sederhana dan secara langsung dapat diimplementasikan, karena metode ini membutuhkan hanya satu pembalikan matrik dan empat perkalian matrik. Karena itu metode ini telah diuji pada berbagai jaringan dan memperoleh secara relatif derajat ketelitian yang tinggi (Basha dan Kassab, 1996).

## 3. DASAR TEORI

### 3.1. Aliran Fluida Inkompresibel Dalam Pipa

Dalam mempelajari aliran fluida seringkali digunakan asumsi fluida ideal. Fluida ideal diasumsikan tidak mempunyai kekentalan. Jika memperhatikan fluida nyata, maka pengaruh-pengaruh kekentalan harus diperhitungkan ke dalam permasalahan. Pada fluida nyata timbul tegangan geser antara partikel-partikel fluida ketika partikel-partikel tersebut bergerak pada kecepatan yang berbeda. Pada fluida ideal yang mengalir melalui suatu tabung lurus, semua partikel bergerak pada garis-garis sejajar dengan kecepatan sama. Pada aliran fluida nyata, kecepatan terdekat dengan dinding akan nol, dan akan bertambah besar pada jarak pendek dari dinding (Orianto dan Pratikto, 1989).

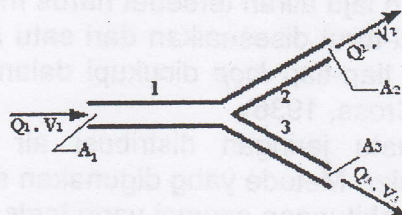


### 3.2. Viskositas

Viskositas merupakan hasil dari gaya-gaya antara molekul yang timbul pada saat lapisan-lapisan fluida berusaha menggeser satu dengan lainnya atau sifat dari zat cair untuk melawan tegangan geser pada waktu bergerak/mengalir. Viskositas kinematis merupakan perbandingan antara koefisien viskositas (viskositas dinamis) dengan densitas. Viskositas disebabkan karena kohesi antara partikel-partikel zat cair (Orianto dan Pratikto, 1989).

### 3.3. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas dihasilkan dari prinsip kekekalan massa. Untuk aliran mantap massa fluida yang melalui semua bagian dalam arus fluida per satuan waktu adalah sama. Untuk pipa bercabang, berdasarkan persamaan kontinuitas debit aliran yang menuju titik cabang harus sama dengan debit yang meninggalkan titik tersebut.



Gambar 1. Persamaan kontinuitas pipa bercabang

Persamaan kontinuitas untuk pipa bercabang adalah:

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 = V_3 A_3 = \dots = V_n A_n$$

Dimana :

A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

V = kecepatan rata-rata arus aliran (m/s)

### 3.4. Bilangan Reynolds

Ada tiga faktor yang mempengaruhi keadaan aliran yaitu kekentalan ( $\mu$ ), rapat massa zat cair ( $\rho$ ), dan diameter pipa (D). Pada aliran tak mampu mampat biasanya diambil asumsi kerapatan, viskositas dan temperatur tidak mengalami perubahan sehingga berat spesifiknya konstan. Untuk diameter dan panjang pipa tertentu, kerugian tekanan di dalam pipa disebabkan adanya efek gesekan sebagai fungsi bilangan Reynolds. Angka Reynolds mempunyai bentuk seperti:

$$Re = D.v.\rho / \mu$$

Dimana :

v = kecepatan rata-rata aliran (m/s)



$\mu$  = viskositas absolute (Pa detik)

$\rho$  = kerapatan fluida (kg/m<sup>3</sup>)

Untuk angka Reynolds di bawah 2000, aliran pada kondisi tersebut adalah laminar. Aliran akan turbulen apabila angka Reynolds lebih besar 4000. Apabila angka Reynolds berada di antara kedua nilai tersebut adalah transisi. Angka Reynolds pada kedua nilai di atas ( $Re=2000$  dan  $Re=4000$ ) disebut dengan batas kritik bawah dan atas (Triatmodjo, 1993).

### 3.5. Rugi Energi Karena Gesekan dalam Pipa

Bila fluida mengalir melalui suatu pipa dan tekanan fluida diukur pada dua tempat sepanjang pipa, akan dijumpai kenyataan bahwa tekanan berkurang dalam arah aliran. Penurunan tekanan ini disebabkan karena gesekan fluida pada dinding pipa. Penurunan tekanan ( $\Delta p$ ) sepanjang pipa ( $L$ ) dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = h_f = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

Dengan:

$\Delta p$  = tekanan zat cair (N/m<sup>2</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$h_f$  = penurunan tekanan (m)

$L$  = panjang pipa (m)

$d$  = diameter pipa (m)

$f$  = koefisien gesekan pipa

$V$  = kecepatan aliran fluida (m/s)

### 3.6. Rugi $\square$ rugi Kecil (Minor)

Rugi-rugi kejutan dari energi tidak timbul pada pipa lurus, seragam, tetapi pada diskontinuitas seperti katup, belokan, dan perubahan penampang. Kehilangan tenaga karena perbesaran penampang disebabkan oleh pusaran dan tumbukan. Kehilangan tenaga akibat dari perbesaran penampang secara mendadak dijelaskan dengan rumus "Belanger".

$$h = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

Kerugian head oleh penyempitan mendadak dinyatakan dengan rumus:

$$h = \left( \frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \frac{V_2^2}{2g}$$

Dengan:

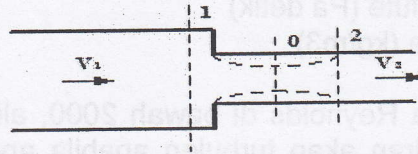
$h$  = kerugian tenaga karena perubahan penampang (m)

$V_1$  = kecepatan fluida penampang 1 (m/s)

$V_2$  = kecepatan fluida penampang 2 (m/s)

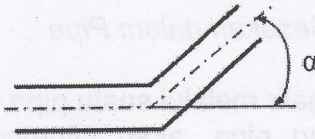


$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )



Gambar 2. Pengecilan penampang mendadak

Rumus kehilangan tenaga pada belokan adalah:



Gambar 3. Belokan pipa

$$h_b = K_b \frac{V^2}{2g}$$

Dengan:

$h_b$  = kehilangan tenaga pada belokan pipa (m)

$K_b$  = koefisien kehilangan tenaga belokan pipa

$V$  = kecepatan fluida dalam pipa (m/s)

Rumus kehilangan tenaga pada katup adalah:

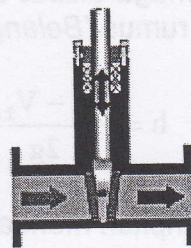
$$\Delta h = K \frac{V^2}{2g}$$

Dengan:

$\Delta h$  = kehilangan tenaga pada katup (m)

$K$  = koefisien kehilangan tenaga pada katup

$V$  = kecepatan fluida dalam pipa (m/s)



Gambar 4. Gate valves

Pada kenyataannya kebanyakan sistem perpipaan adalah sistem pipa majemuk, yaitu rangkaian pipa seri, paralel maupun berupa jaringan perpipaan. Untuk rangkaian pipa seri atau paralel, penyelesaiannya adalah serupa dengan perhitungan tegangan dan tahanan pada Hukum Ohm.



Penurunan tekanan dan laju aliran identik dengan tegangan dan arus pada listrik. Namun persamaannya tidak identik seperti hukum Ohm, karena penurunan tekanan sebanding dengan kuadrat dari laju aliran. Semua sistem pipa majemuk lebih mudah diselesaikan dengan persamaan empiris.

Pada sistem pipa seri maka semua pipa akan dialiri kapasitas aliran yang sama, dan *head loss* total adalah jumlah aljabar dari masing-masing *head loss* pipa. Apabila setiap pipa diberikan simbol 1,2 dan seterusnya, maka persamaan kapasitas aliran dan persamaan *head loss* total adalah :

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n \quad (1.1)$$

$$\text{atau } V_1 A_1 = V_2 A_2 = V_3 A_3 = \dots = V_n A_n$$

$$\sum h_l = h_{l1} + h_{l2} + h_{l3} + \dots + h_{ln} \quad (1.2)$$

Pada sistem pipa paralel maka total laju aliran adalah sama dengan jumlah aljabar kapasitas masing-masing aliran dalam setiap pipa dan rugi atau *head loss* pada sebuah cabang adalah sama dengan rugi pada pipa cabang yang lain. Persamaannya adalah :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n \quad (1.3)$$

$$\text{atau } V \cdot A = V_1 A_1 + V_2 A_2 + V_3 A_3 + \dots + V_n A_n$$

$$h_{l1} = h_{l2} = h_{l3} = \dots = h_{ln} \quad (1.4)$$

Dengan menyatakan *head loss* sebagai persamaan Darcy-Weisbach maka persamaan diatas akan menjadi :

$$\left( f_1 \frac{L_1}{D_1} + \sum k_1 \right) \frac{V_1^2}{2g} = \left( f_2 \frac{L_2}{D_2} + \sum k_2 \right) \frac{V_2^2}{2g} = \left( f_3 \frac{L_3}{D_3} + \sum k_3 \right) \frac{V_3^2}{2g} = \dots$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{(f_1 L_1 / D_1) + \sum k_1}{f_2 L_2 / D_2 + \sum k_2}}$$

Perbandingan kecepatan yang lain juga bisa ditentukan untuk dimasukkan ke persamaan 1.3. menjadi :

$$Q = V_1 A_1 + \frac{V_2}{V_1} V_1 A_2 + \frac{V_3}{V_1} V_1 A_3 + \dots$$

#### 4. CONTOH PERHITUNGAN

Contoh Perhitungan 1 .



Pipa baja komersial baru, berdiameter 200 mm dan panjang 1000 m dipasang paralel dengan pipa jenis yang sama berdiameter 300 mm dan panjang 3000 m. Total laju aliran dalam kedua pipa adalah 0,2 m<sup>3</sup>/dt. Hitung *head loss* melalui sistem tersebut dengan menganggap air yang mengalir bersuhu 20<sup>o</sup> C ( $\nu = 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/dt) dan *head loss minor* diabaikan.

*Penyelesaian:*

Dari Tabel Moody diperoleh :

$$0,046 / 200 = 0,00023$$

$$0,046 / 300 = 0,00015$$

Kekasaran relatif pipa adalah berturut-turut adalah 0,000225 dan 0,00015.

Pada angka Reynold yang besar maka koefisien gesek masing-masing adalah 0,014 dan 0,013. Kedua harga ini adalah nilai pendekatan dan penyelesaian coba-coba untuk menghitung kecepatan dalam setiap pipa dilakukan berdasarkan data ini. Selanjutnya angka-angka Reynold dan faktor gesekan yang lebih teliti dapat ditentukan secara iteratif. Dengan subskrip 1 dan 2 untuk pipa kecil dan besar maka :

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{f_1 L_1 D_2}{f_2 L_2 D_1}} = \sqrt{\frac{0,014 \times 1000 \times 300}{0,013 \times 3000 \times 200}} = 0,734$$

$$3,14 \cdot r_2 = 3,14 \cdot 0,1^2 = 0,0314$$

$$= 3,14 \cdot 0,15^2 = 0,0707$$

Luas penampang pipa adalah 0,0314 m<sup>2</sup> dan 0,0707 m<sup>2</sup> . Kemudian dari persamaan kontinuitas diperoleh :

$$Q = V_1 A_1 + V_2 A_2 \text{ atau}$$

$$0,2 = 0,0314 V_1 + (0,734 V_1) (0,0707) \text{ dan}$$

$$V_1 = 2,4 \text{ m/dt dan } V_2 = 1,76 \text{ m/dt .}$$

Angka-angka Reynold yang bersangkutan adalah :

$$Re = VD / \nu$$

$$Re_1 = \frac{2,4 \times 0,2}{10^{-6}} = 4,8 \times 10^5 \quad \text{dan } f_1 = 0,0156$$

$$Re_2 = \frac{1,76 \times 0,3}{10^{-6}} = 5,3 \times 10^5 \quad \text{dan } f_2 = 0,0150$$

Setelah itu perhitungan iterasi selanjutnya akan menghasilkan  $V_2 / V_1 = 0,721$ , sehingga  $V_1 = 2,43$  m/dt. *Head loss* untuk kedua pipa sama besar dan untuk pipa 1

$$h_f = \left( \frac{f_1 L_1}{D_1} \right) \left( \frac{V_1^2}{2g} \right) = \frac{0,0156 \times 1000 / 0,2 \times 2,43^2}{2g} = 23,5 \text{ m}$$

Jaringan perpipaan akan lebih mudah dihitung dengan persamaan empiris yang tidak memerlukan tabel maupun diagram Moody untuk menentukan nilai koefisien geseknya. Persamaan empiris yang paling banyak dipergunakan adalah persamaan Hazen-Wiliams yaitu :

$$V = 1,318 C (R_h)^{0,63} S^{0,54} \quad (\text{ft/dt}) \quad (1.5)$$

$$Q = 1,318 C (R_h)^{0,63} S^{0,54} A \quad (\text{ft}^3/\text{dt}) \quad (1.6)$$



dimana :

- $R_h$  : jari-jari hidrolik pipa(ft)  
 $S$  : condong garis total head  
 $A$  : luas penampang pipa  
 $C$  : koefisien kekasaran

Dalam satuan Sistem Internasional maka persamaan Hazen-Williams adalah :

$$V = 0,850 C R_h^{0,63} S^{0,54} \text{ m/dt} \quad (1.7)$$

$$Q = 0,850 C R_h^{0,63} S^{0,54} A \text{ (m}^3\text{/dt)} \quad (1.8)$$

Harga kekasaran  $C$  dapat dilihat pada tabel 1.1. dibawah ini. Persamaan Hazen-Williams didasarkan pada kenyataan bahwa angka Reynold nilainya cukup besar dan pipa-pipa umumnya kasar sehingga jenis aliran yang masuk digolongkan sebagai aliran turbulen berkembang penuh. Dalam hal ini koefisien gesekan tidak tergantung kepada angka Reynold.

Tabel 1.1. Nilai kekasaran Hazen-Williams

Jenis pipa	C
<i>Asbestos Cement</i>	140
<i>Brass tube</i>	130
<i>Cast Iron tube</i>	100
<i>Concrete tube</i>	110
<i>Copper tube</i>	130
<i>Corrugated Steel tube</i>	60
<i>Galvanized tubing</i>	120
<i>Glass tube</i>	130
<i>Lead piping</i>	130
<i>Plastic pipe</i>	140
<i>PVC pipe</i>	150
<i>General smooth pipe</i>	140
<i>Steel pipe</i>	120
<i>Steel riveted pipe</i>	100
<i>Tar coated cast iron tube</i>	100
<i>Tin tubing</i>	130
<i>Wood stave</i>	100

Aliran pada rangkaian pipa paralel dapat diselesaikan dengan persamaan empiris ini karena  $R_h = D/4$  untuk pipa bundar maka persamaan 1.8 menjadi :

$$Q = \frac{0,850\pi C D^{2,63}}{4^{1,63}} \left(\frac{h_f}{L}\right)^{0,54} \quad (1.9)$$

Sehingga persamaan 1.3. menjadi :



$$Q = h_f^{0,54} (C'_1 + C'_2 + C'_3 + \dots + C'_n) \quad (1.10)$$

dengan  $C' = \frac{0,850\pi CD^{2,63}}{4^{1,63} L^{0,54}}$  yang mempunyai harga yang tetap untuk setiap pipa, maka semua nilai yang awalnya diandaikan untuk perhitungan head loss pada sistim paralel akan menghasilkan aliran dengan perbandingan yang tepat dalam tiap pipa, meski harga total mungkin tidak tepat. Aliran dalam setiap cabang dapat dikoreksi dengan faktor yang sama yang dibutuhkan untuk mengoreksi total aliran, Q.

#### Contoh Perhitungan 2.

Dari contoh perhitungan 1, selesaikanlah dengan menggunakan persamaan Hazen-Williams

*Penyelesaian :*

Dari tabel 1.1. maka nilai kekasaran, C adalah 130. Asumsikan *head loss*,  $h_f = 20$  m. Kemudian untuk pipa 200 mm,  $h_f/L = 20/1000$  sehingga

$$\begin{aligned} Q_{200} &= (0,850)(130) \left( \frac{0,200}{4} \right)^{0,63} \left( \frac{20}{1000} \right)^{0,54} \left( \frac{\pi}{4} \right) (0,200)^2 \\ &= 0,0636 \text{ m}^3 / \text{dt} \end{aligned}$$

Untuk pipa 300 mm maka  $h_f/L = 20/3000$  dan

$$\begin{aligned} Q_{300} &= (0,850)(130) \left( \frac{0,300}{4} \right)^{0,63} \left( \frac{20}{3000} \right)^{0,54} \left( \frac{\pi}{4} \right) (0,300)^2 \\ &= 0,1021 \text{ m}^3 / \text{dt} \end{aligned}$$

Total aliran untuk head loss yang diasumsikan 20 m adalah 0,1657  $\text{m}^3/\text{dt}$ , sedangkan aliran sesungguhnya adalah 0,200  $\text{m}^3/\text{dt}$ . Jadi sebuah faktor pengali harus digunakan untuk tiap cabang yaitu  $0,200 \text{ m}^3/\text{dt} / 0,1657 \text{ m}^3/\text{dt} = 1,207$  agar diperoleh aliran sesungguhnya pada tiap cabang.

$$Q_{200} = 0,0636 \times 1,207 = 0,0768 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$Q_{300} = 0,1021 \times 1,207 = 0,1232 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Hasil-hasil ini tidak terlalu berbeda dengan hasil pada penyelesaian contoh perhitungan 1.

Pada jaringan pipa yang kompleks pemakaian persamaan Hazen Williams sangat mempermudah dibandingkan dengan persamaan lain. Perhitungan jaringan pipa menjadi rumit karena umumnya arah aliran dalam pipa tidak bisa ditentukan dan terdapat persyaratan yang harus dipenuhi pada sebuah lokasi serta proses interaksi penentuan *head loss* pada tiap pipa. Sebuah jaringan yang terdiri dari beberapa pipa mungkin membentuk beberapa *loop* dan sebuah pipa mungkin dipakai secara bersama-sama



oleh dua *loop*. Seperti Hukum *Kirchoff* pada rangkaian listrik, maka pada jaringan pipa terdapat dua syarat yang harus dipenuhi :

1. Aliran netto ke sebuah titik pertemuan harus sama dengan nol atau laju aliran ke arah titik pertemuan harus sama dengan laju aliran dari titik pertemuan yang sama
2. Head loss netto di seputar sebuah loop harus sama dengan nol.

Metode iterasi untuk perhitungan loop jaringan pipa disebut metode *Hardy-Cross*. Metode ini memberikan nilai koreksi kapasitas aliran pada tiap pipa dari perbandingan head loss yang diasumsikan sebelumnya. Metode *Hardy Cross* digunakan untuk jaringan pipa *loop* tertutup. Laju aliran keluar sistem secara umum diasumsikan untuk setiap percabangan, pengasumsian ini menentukan laju aliran yang seragam dalam saluran pipa yang dapat menyederhanakan analisis. Dengan mengetahui laju keluaran pada percabangan, metode *Hardy Cross* didasarkan dengan prosedur secara iterasi pada awal perhitungan laju aliran dalam pipa. Pada setiap percabangan laju aliran tersebut harus memenuhi kriteria kontinuitas. Setiap pipa dari sistem jaringan terdapat hubungan antara kehilangan tenaga dan debit.

Langkah perhitungan dengan metode *Hardy-Cross* adalah sebagai berikut :

1. Mengasumsikan besar dan arah kapasitas aliran pada tiap pipa dengan berpedoman pada syarat 1, yaitu total aliran pada tiap titik pertemuan mempunyai jumlah aljabar sama dengan nol.
2. Membuat tabel perhitungan untuk analisa tiap loop tertutup.
3. Menghitung head loss dalam setiap pipa
4. Menentukan arah aliran dan head loss, yaitu positif untuk arah aliran yang searah jarum jam dan negatif untuk arah aliran yang berlawanan dengan jarum jam
5. Menghitung jumlah aljabar head loss pada setiap loop
6. Menghitung total head loss per laju aliran,  $h_f / Q$  untuk setiap pipa dan menentukan jumlah aljabar dari perbandingan tersebut untuk tiap loop.
7. Menentukan koreksi aliran untuk tiap loop dengan rumus

$$\Delta Q = \frac{\sum h_f}{1,85 \sum h_f / Q} \quad (1.11)$$

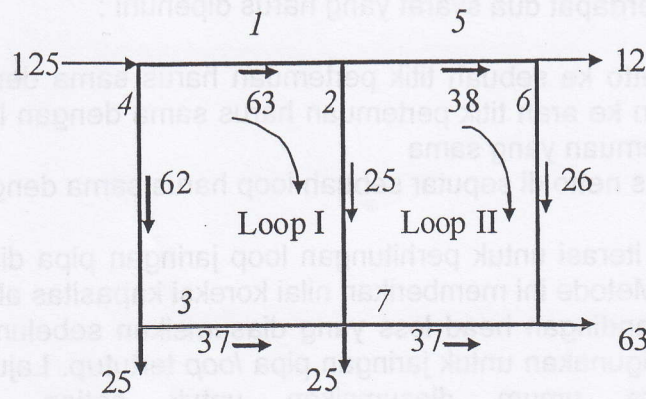
Koreksi ini diberikan pada setiap pipa dalam loop dengan ketentuan ditambahkan untuk aliran yang searah jarum jam dan di kurangkan untuk aliran yang berlawanan dengan jarum jam. Untuk pipa yang digunakan secara bersama dengan loop lain, koreksi aliran untuk pipa tersebut adalah harga total dari koreksi-koreksi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

8. Mengulangi langkah 1 sampai dengan langkah ke 7 sampai nilai koreksi aliran sekecil mungkin.

### Contoh Perhitungan 3.

Sebuah jaringan pipa seperti gambar di bawah dengan C bernilai 100. Pipa 1,3,5,7, panjangnya 300 m dan pipa 2,4,6 panjangnya 250 m. Diameter pipa 1,4 adalah 25 cm dan pipa 2,3,5,6 diameternya 20 cm. Pipa 7 diameternya 15 cm Tentukan laju aliran pada tiap pipa.





Penyelesaian :

Iterasi I

Mengasumsikan kapasitas aliran di pipa 1 sampai dengan pipa 7 dengan berpedoman kepada syarat no 1, yaitu jumlah aljabar kapasitas pada tiap titik pertemuan adalah sama dengan nol.

- Pada pipa 1,4                      125 = 62 + 63
- Pada pipa 1,2,5                  63 = 25 + 38
- Pada pipa 3,4                      62 = 25 + 37
- Pada pipa 2,3,7                  25 + 37 = 25 + 37
- Pada pipa 5,6                      38 = 12 + 26
- Pada pipa 6,7                      26 + 37 = 63

Menghitung head loss pada tiap pipa, yaitu :

Pada pipa 1

$$\begin{aligned}
 Re_1 &= \frac{V_1 D_1}{\nu} = \frac{4Q_1}{\pi D_1^2} \frac{D_1}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D_1 \nu} \\
 &= \frac{4 \times 63 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{dt} \times \frac{dt}{\pi \times 0,25 \text{ m} \times 10^{-6} \text{ m}^2} \\
 &= 3,21 \times 10^5
 \end{aligned}$$

Sehingga  $f_1 \approx 0,03$  dan head loss dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 h_f &= f_1 \frac{L_1}{D_1} \left( \frac{V_1^2}{2g} \right) = f_1 \frac{L_1}{D_1} \left( \left( \frac{4Q}{\pi D_1^2} \right)^2 \frac{1}{2g} \right) = f_1 \frac{L_1}{2g} \left( \frac{16Q^2}{\pi^2 D_1^5} \right) \\
 &= 0,03 \times \frac{300 \text{ m} \times dt^2}{2 \times 9,8 \text{ m}} \times \frac{16 \times (63 \times 10^{-3})^2 (\text{m}^3)^2}{dt^2} \times \frac{1}{\pi^2 \times 0,25^5 \text{ m}^5} \\
 &= 3,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Setiap Loop diiterasi sampai perbedaan kapasitas aliran sebelum iterasi dan sesudah iterasi cukup kecil.

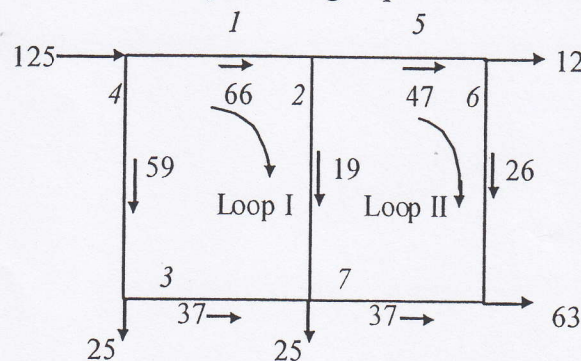


Hasil perhitungan secara rinci dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel hasil contoh perhitungan 3.

Loop I	Pipa	Dia (cm)	L (m)	Percobaan pertama			Percobaan kedua			Percobaan ketiga		
				Q <sub>o</sub> (L/dt)	h <sub>i</sub> (m)	h <sub>i</sub> /Q <sub>o</sub>	Q <sub>o</sub> (L/dt)	h <sub>i</sub> (m)	h <sub>i</sub> /Q <sub>o</sub>	Q <sub>o</sub> (L/dt)	h <sub>i</sub> (m)	h <sub>i</sub> /Q <sub>o</sub>
I	1	25	300	+ 63	+ 3,3	0,052	+ 66	+ 3,52	0,053	+ 68,5	+ 3,77	0,055
	2	20	250	+ 25	+ 1,5	0,060	+ 19	+ 0,87	0,046	+ 20,2	+ 0,97	0,048
	3	20	300	- 37	- 3,6	0,097	- 34	- 3,06	0,090	- 31,5	- 2,65	0,084
	4	25	250	- 62	- 2,7	0,044	- 59	- 2,38	0,040	- 56,5	- 2,20	0,039
				E	-1,5	0,25		-	0,22		-	0,22
						3		1,05	9		0,11	6
				$\Delta Q = -\frac{(-1,5)}{(1,85)(0,253)}$ $= +3,2 \text{ L / dt}$			$\Delta Q = -\frac{(-1,05)}{(1,85)(0,229)}$ $= +2,5 \text{ L / dt}$			$\Delta Q = -\frac{(-0,11)}{(1,85)(0,226)}$ $= +0,26 \text{ L / dt}$		
II	5	20	300	+ 38	+ 3,8	0,100	+ 47	+ 5,56	0,118	+ 48,3	+ 5,85	0,121
	6	20	250	+ 26	+ 1,6	0,062	+ 35	+ 2,68	0,077	+ 36,3	+ 2,87	0,079
	7	15	300	- 37	- 14,5	0,392	- 28	- 8,66	0,309	- 26,7	- 7,93	0,297
	2	20	250	- 25	- 1,5	0,060	- 19	- 0,87	0,046	- 20,2	- 0,97	0,048
							-	0,55			0,54	
							1,29	0				5
				$\Delta Q = -\frac{(-10,6)}{(1,85)(0,610)}$ $= +9,4 \text{ L / dt}$			$\Delta Q = -\frac{(-1,29)}{(1,85)(0,550)}$ $= +1,3 \text{ L / dt}$			$\Delta Q = -\frac{(-0,18)}{(1,85)(0,545)}$ $= +0,18 \text{ L / dt}$		

Gambar hasil perhitungan percobaan kedua





## KESIMPULAN

1. Perhitungan laju aliran fluida pada pipa seri atau paralel dapat dihitung dengan menggunakan tabel Moody atau persamaan Hazen-Williams.
2. Perhitungan laju aliran fluida pada jaringan pipa dapat dihitung dengan metode Hardy-Cross.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Basha, H. A., Kassab, B. G.. 1996. "Analysis of Water Distribution Systems Using a Perturbation Method". Applied Mathematical Modelling. Volume 20. April 1996. Pages 290-297.
2. Bassett, M.D., Pearson, R. J., and Winterbone, D. E, 1998, "Visualisation of wave propagation in a three-pipe junction", Institute International Conference on Optical Methods and Data Processing in Heat and Fluid Flow, City University, London.
3. Bassett, M.D., Pearson, R. J., and Winterbone, D. E, 2001, "Calculation of steady flow pressure loss coefficients for pipe junction", Prociding Institute Mechanical Engineers.
4. Bingham, J.F. dan Blair, G.P., 1985, "An Improved branched pipe model for Multi-cylinder automotive engine calculations", Proc. Institute Mechanical Engineers, Part D, Journal of Automobile Engineering.
5. Cornish, R. J..1939. "The Analysis of Flow in Networks of Pipes". J Inst CE, Vol. 13, p147.
6. Cross, Hardy. 1936. "Analysis of Flow in Networks of Conduits or Conductors". Bulletin No. 286, University of Illinois, Engineering Experimental Station, Urbana, Ill.
7. Djojodihardjo, H.. 1983. "Mekanika Fluida". Jakarta: Erlangga.
8. Dugdale, R. H.. 1986. "Mekanika Fluida" (Terjemahan oleh Bambang Priambodo). Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga.
9. Hagar, W. H., 1984, "An Approximate treatment of Flow in Branches and Bend", Proc. Institute Mechanical Engineers, Journal of Mechanical Engineering Science.
10. Orianto, M., Pratikto, W. A.. 1989. "Mekanika Fluida 1". Yogyakarta: BPFE.
11. Streeter, V. L., Wylie, E. B.. 1988. "Mekanika Fluida" (Terjemahan oleh Arko Prijono). Edisi Kedelapan. Jilid II. Jakarta: Erlangga.
12. White, F. M..1994. "Mekanika Fluida" (Terjemahan oleh Manahan Hariandja). Jilid 1. Jakarta: Erlangga.