



Komputasi Analisis Hidraulika Jaringan Pipa Air Minum

M. Baitullah Al Amin¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Palembang - Prabumulih Km.32, Inderalaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan
Telp: 081368768186, Fax: (0711) 580139 Email: baitullah@unsri.ac.id

ABSTRAK

Analisis hidraulika sistem jaringan pipa secara manual dianggap kurang efisien, terlebih apabila sistem jaringan pipa yang ditinjau cukup rumit dan kompleks. Hal ini menyebabkan perhitungan akan memakan waktu yang cukup lama, serta kemungkinan terjadi kekeliruan dan hasil yang tidak akurat menjadi cukup besar. Oleh karena itu, penggunaan program komputer dianggap lebih baik dan efisien mengingat konstruksi sistem jaringan pipa merupakan bagian yang paling mahal dalam sistem distribusi air sehingga memerlukan perencanaan dan perancangan yang baik pula.

Penelitian ini dilakukan melalui analisis hidraulika air dalam sistem jaringan pipa dengan cara perhitungan manual menggunakan metode Hardy Cross dan Newton-Raphson. Selanjutnya, hasil analisis hidraulika tersebut dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan program komputer, yaitu EPANET 2.0, Pipe Flow Expert 2010, dan WaterCAD 8.0. Sistem jaringan pipa yang ditinjau merupakan sistem contoh yang sama, baik untuk analisis hidraulika secara manual maupun menggunakan program komputer.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap metode analisis yang digunakan memberikan keuntungan dan kerugian terutama dalam hal kemudahan dan kecepatan proses perhitungan. Program komputer sangat membantu dalam memudahkan perhitungan jaringan pipa yang kompleks, serta memberikan hasil perhitungan dengan cepat dan akurat.

Kata kunci: *Distribusi air, EPANET, Jaringan pipa, Pipe Flow Expert, WaterCAD.*

1. PENDAHULUAN

Permasalahan klasik aliran air dalam jaringan pipa menyebutkan bahwa debit aliran (*flows*) dan tekanan (*pressures*) merupakan parameter yang hendak diketahui pada setiap titik aliran masuk (*inflows*) dan titik aliran keluar (*outflows*) dalam suatu jaringan pipa. Dua pasangan persamaan dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan ini. Persamaan yang pertama yaitu persamaan konservasi massa (kontinuitas) yang harus dipenuhi di setiap titik simpul pipa (*node*). Persamaan yang kedua merupakan hubungan

nonlinier antara debit aliran dan kehilangan energi di setiap pipa, seperti persamaan Darcy-Weisbach atau Hazen-Williams. Kapan pun sebuah jaringan terdiri dari jaringan tertutup (*loops*) atau memiliki lebih dari satu sumber air, kedua persamaan ini membentuk sebuah pasangan persamaan nonlinier. Kenyataannya persamaan ini hanya dapat diselesaikan dengan metode iterasi, bahkan untuk sebuah jaringan pipa yang kecil, sehingga penyelesaiannya membutuhkan bantuan sebuah komputer. Karena hampir semua sistem jaringan pipa distribusi air menggunakan sistem *loops*,

maka program komputer menjadi suatu kebutuhan untuk penyelesaian permasalahan tersebut.

Konstruksi jaringan perpipaan merupakan bagian yang paling mahal dari sistem distribusi air. Oleh karena itu, perencanaan, perancangan, dan pengelolannya harus dilakukan dengan baik dan efisien terutama pada sistem jaringan pipa yang kompleks.

Di Indonesia sampai dengan saat ini, komputasi analisis hidraulika jaringan pipa air minum kurang mendapat perhatian. Hal ini terbukti dengan minimnya pengetahuan tentang teknik hidraulika jaringan pipa (aliran saluran tertutup) dan tidak banyak yang menguasai program komputer untuk analisis tersebut.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan melalui analisis hidraulika sistem jaringan pipa menggunakan hitungan manual yang dibandingkan dengan analisis menggunakan program komputer. Program komputer yang digunakan adalah EPANET 2.0, Pipe Flow Expert 2010, dan WaterCAD 8.0. Penggunaan program komputer yang beragam ditujukan agar lebih memperkaya pengetahuan tentang komputasi analisis hidraulika jaringan pipa. Sistem jaringan pipa yang ditinjau merupakan sistem jaringan pipa contoh yang digunakan untuk kedua cara analisis di atas.

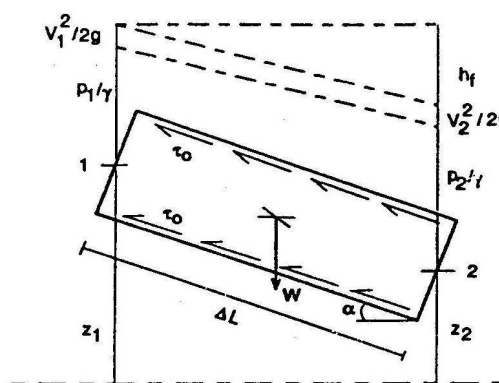
Penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut:

1. Kehilangan energi sekunder akibat perubahan penampang pipa, belokan, katup, dan sambungan diabaikan.

2. Persamaan kehilangan energi primer akibat gesekan yang digunakan adalah persamaan Darcy-Weisbach.
3. Metode penyelesaian secara manual yang digunakan adalah metode Hardy Cross dan metode Newton-Raphson.
4. Hasil komputasi analisis hidraulika terbatas pada kemampuan yang dimiliki oleh tiap program komputer.

Tahap awal dilakukan penetapan sistem jaringan pipa yang akan ditinjau. Selanjutnya jaringan pipa tersebut dianalisis secara manual menggunakan metode Hardy Cross dan metode Newton-Raphson. Secara terpisah juga dilakukan analisis jaringan pipa yang sama menggunakan program komputer EPANET 2.0, Pipe Flow Expert 2010, dan WaterCAD 8.0. Persamaan kehilangan energi primer akibat gesekan (friksi) ditetapkan menggunakan persamaan yang diusulkan oleh Darcy-Weisbach. Hasil analisis hidraulika berupa parameter debit aliran, kecepatan aliran, tekanan air, dan kehilangan energi dibandingkan antara perhitungan secara manual dengan menggunakan program komputer.

Pada zat cair (fluida) yang mengalir di dalam bidang batas (pipa) akan terjadi tegangan geser dan gradient kecepatan pada seluruh medan aliran karena adanya gaya kekentalan (viskositas). Tegangan geser tersebut akan menyebabkan terjadinya kehilangan energi selama pengaliran zat cair. Dua persamaan kehilangan energi akibat gesekan yang umumnya sering digunakan adalah persamaan Darcy-Weisbach dan persamaan Hazen-Williams.



Gambar 1. Ilustrasi persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli atau persamaan energi dapat diturunkan dari Gambar 1 di atas yang harus dipenuhi dalam analisis hidraulika jaringan pipa, yaitu:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f \dots (1)$$

dimana z_1 dan z_2 masing-masing adalah elevasi pada titik 1 dan titik 2, p_1/γ dan p_2/γ adalah energi hidraulik pada titik 1 dan titik 2, $v_1^2/2g$ dan $v_2^2/2g$ adalah energi kecepatan pada titik 1 dan titik 2, dan h_f adalah kehilangan energi akibat gesekan.

Persamaan kehilangan energi akibat gesekan yang diusulkan oleh Darcy-Weisbach adalah sebagai berikut:

$$h_f = \frac{8fLQ^2}{\pi^2 gD^5} \dots (2)$$

Dimana f merupakan koefisien gesekan Darcy-Weisbach yang bergantung pada nilai kekasaran pipa dan angka Reynolds, L adalah panjang pipa, D adalah diameter pipa, dan V adalah kecepatan rata-rata aliran.

Swamee dan Jain (1976) dalam Mays (2000) mengusulkan persamaan koefisien gesekan f yang terkenal dan banyak digunakan dalam program komputer termasuk EPANET 2.0 sebagai berikut:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{k}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \dots (3)$$

dimana k adalah nilai kekasaran pipa yang tergantung dari jenis dan umur pipa, dan Re adalah angka Reynolds.

Aliran masuk dan keluar dalam sistem biasanya dianggap terjadi pada *node*. Pada jaringan pipa harus dipenuhi persamaan kontinuitas dan persamaan energi sebagai berikut.

1. Aliran di dalam pipa harus memenuhi hukum gesekan pipa untuk aliran dalam pipa tunggal.
2. Aliran masuk ke dalam tiap-tiap *node* harus sama dengan aliran yang keluar.

$$\sum Q_i = 0 \dots (4)$$

3. Jumlah aljabar dari kehilangan energi dalam suatu *loop* harus sama dengan nol.

$$\sum h_f = 0 \dots (5)$$

Setiap pipa dari sistem jaringan terdapat hubungan antara kehilangan energi dan debit aliran. Secara umum hubungan tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$h_f = KQ^2 \dots (6)$$

dengan: $K = \frac{8fL}{g\pi^2 D^5}$

Metode Hardy Cross dilakukan secara iteratif, dimana pada awal hitungan ditetapkan debit aliran melalui masing-masing pipa dalam setiap *loop* secara sembarang. Kemudian dihitung nilai koreksi debit aliran di setiap *loop* berdasarkan nilai debit awal tersebut menggunakan persamaan (7) berikut.

$$\Delta Q = \frac{\sum KQ_0^2}{\sum |2KQ_0|} \dots (7)$$

Dengan debit yang telah dikoreksi sebesar $Q = Q_0 + \Delta Q$, prosedur tersebut kemudian diulangi kembali hingga akhirnya diperoleh $\Delta Q \approx 0$ yang berarti $Q \approx Q_0$, dengan Q adalah debit aliran yang sebenarnya, Q_0 adalah debit pemisalan dan ΔQ adalah nilai koreksi debit.

Hitungan jaringan pipa sederhana dilakukan dengan membuat tabel untuk setiap *loop*. Dalam setiap *loop* tersebut jumlah aljabar kehilangan energi adalah nol, dengan catatan aliran searah jarum jam (ditinjau dari pusat *loop*) diberi tanda positif, sedangkan yang berlawanan diberi tanda negatif. Untuk memudahkan perhitungan, dalam setiap *loop* selalu dimulai dengan aliran yang searah jarum jam. Koreksi debit ΔQ dihitung menggunakan persamaan (7). Arah koreksi harus disesuaikan dengan arah aliran. Apabila dalam suatu *loop* jumlah aljabar kehilangan energi adalah

positif ($\sum KQ_0^2 > 0$) karena aliran searah jarum jam lebih besar daripada aliran yang berlawanan, maka arah koreksi debit adalah berlawanan jarum jam (negatif) begitu pun sebaliknya. Jika suatu pipa menyusun dua buah *loop*, maka koreksi debit ΔQ untuk pipa tersebut terdiri dari dua buah ΔQ yang diperoleh dari dua *loop* tersebut. Hasil hitungan yang benar dicapai apabila $\Delta Q \approx 0$.

Jaringan pipa dapat juga dianalisis menggunakan metode Newton-Raphson, dimana berbeda dengan metode Hardy Cross, pada metode Newton-Raphson seluruh jaringan dianalisis secara bersamaan. Metode Newton-Raphson ini merupakan metode numerik yang handal untuk menyelesaikan sistem persamaan non-linier. Dimisalkan terdapat tiga persamaan non-linier yaitu: $F_1(Q_1, Q_2, Q_3) = 0$, $F_2(Q_1, Q_2, Q_3) = 0$, dan $F_3(Q_1, Q_2, Q_3) = 0$ akan diselesaikan untuk Q_1 , Q_2 , dan Q_3 . Nilai koreksi debit untuk masing-masing debit aliran adalah ΔQ_1 , ΔQ_2 , dan ΔQ_3 . Sehingga persamaan non-linier di atas ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_1(Q_1 + \Delta Q_1, Q_2 + \Delta Q_2, Q_3 + \Delta Q_3) &= 0 \\ F_2(Q_1 + \Delta Q_1, Q_2 + \Delta Q_2, Q_3 + \Delta Q_3) &= 0 \dots (8.a) \\ F_3(Q_1 + \Delta Q_1, Q_2 + \Delta Q_2, Q_3 + \Delta Q_3) &= 0 \end{aligned}$$

Perluas persamaan di atas menggunakan deret Taylor,

$$\begin{aligned} F_1 + [\partial F_1 / \partial Q_1] \Delta Q_1 + [\partial F_1 / \partial Q_2] \Delta Q_2 + [\partial F_1 / \partial Q_3] \Delta Q_3 &= 0 \\ F_2 + [\partial F_2 / \partial Q_1] \Delta Q_1 + [\partial F_2 / \partial Q_2] \Delta Q_2 + [\partial F_2 / \partial Q_3] \Delta Q_3 &= 0 \dots \\ F_3 + [\partial F_3 / \partial Q_1] \Delta Q_1 + [\partial F_3 / \partial Q_2] \Delta Q_2 + [\partial F_3 / \partial Q_3] \Delta Q_3 &= 0 \end{aligned} \quad (8.b)$$

Susun ketiga persamaan di atas ke dalam bentuk matriks,

$$\begin{bmatrix} \partial F_1 / \partial Q_1 & \partial F_1 / \partial Q_2 & \partial F_1 / \partial Q_3 \\ \partial F_2 / \partial Q_1 & \partial F_2 / \partial Q_2 & \partial F_2 / \partial Q_3 \\ \partial F_3 / \partial Q_1 & \partial F_3 / \partial Q_2 & \partial F_3 / \partial Q_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} \dots \quad (8.c)$$

Selesaikan persamaan (8.c),

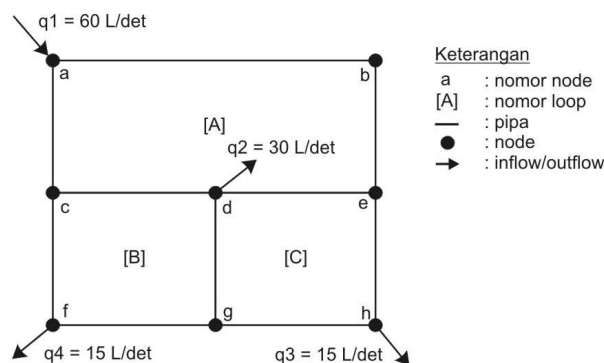
$$\begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \partial F_1 / \partial Q_1 & \partial F_1 / \partial Q_2 & \partial F_1 / \partial Q_3 \\ \partial F_2 / \partial Q_1 & \partial F_2 / \partial Q_2 & \partial F_2 / \partial Q_3 \\ \partial F_3 / \partial Q_1 & \partial F_3 / \partial Q_2 & \partial F_3 / \partial Q_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} \dots \quad (8.d)$$

Dengan demikian, debit aliran Q_1 , Q_2 , dan Q_3 dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} \dots (8.e)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jaringan distribusi yang digunakan dalam penelitian ini adalah jaringan terdiri dari beberapa *loop* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2. Jaringan tersebut dianalisis untuk setiap metode yang digunakan termasuk dengan program komputer.



Gambar 2. Jaringan distribusi dengan beberapa loop

Parameter untuk setiap komponen jaringan di atas (*node* dan pipa) diberikan masing-masing dalam Tabel 1 dan Tabel 2 berikut:

Tabel 1. Parameter untuk node

Node	Elevasi (m)	Inflow (L/det)	Outflow (L/det)
Res1	100	-	60*
a	90	-	-
b	50	-	-
c	50	-	-
d	50	-	30
e	50	-	-
f	50	-	15
g	50	-	-
h	50	-	15

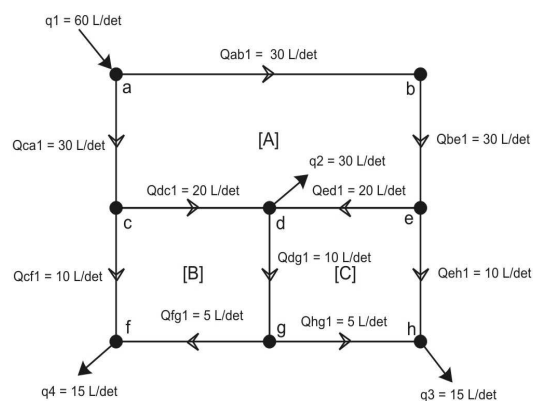
*Keterangan: Outflow Res1 sebagai inflow dalam sistem jaringan

Tabel 2. Parameter untuk pipa

Pipa	Panjang (m)	Diameter (mm)	ϵ (mm)	Keterangan
Res1-a	50	300	0,25	Cast Iron
ab	250	300	0,25	Cast Iron
be	100	100	0,25	Cast Iron
ed	125	200	0,25	Cast Iron
cd	125	200	0,25	Cast Iron
ac	100	200	0,25	Cast Iron
dg	100	150	0,25	Cast Iron
fg	125	250	0,25	Cast Iron
cf	100	150	0,25	Cast Iron
eh	100	150	0,25	Cast Iron
gh	125	250	0,25	Cast Iron

Analisis jaringan distribusi menggunakan metode Hardy Cross dilakukan secara iteratif. Pertama kali, ditentukan debit aliran di setiap pipa secara

sembarang namun memenuhi syarat kontinuitas. Debit aliran di setiap pipa berikut arah alirannya pada iterasi ke-1 ditunjukkan pada Gambar 3.



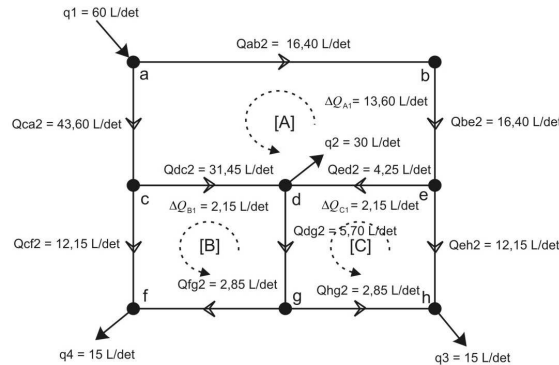
Gambar 3. Pemisalan debit awal dan arah alirannya

Selanjutnya dihitung nilai koreksi debit ΔQ untuk setiap loop. Pada iterasi ke-1, nilai koreksi debit untuk loop A, B, dan C masing-masing diperoleh $\Delta Q_A = 13,60$ L/det, $\Delta Q_B = 2,15$ L/det,

dan $\Delta Q_C = 2,15$ L/det. Debit aliran di setiap loop kemudian dikoreksi sebesar ΔQ , dimana apabila nilai ΔQ adalah positif, maka arah koreksi adalah negatif begitupun sebaliknya. Sebagai contoh,

Q_{ab1} masuk ke dalam loop A. Dengan demikian, $Q_{ab2} = 30 - 13,60 = 16,40$ L/det, dimana Q_{ab2} adalah debit aliran terkoreksi untuk pipa ab (digunakan pada iterasi ke-2). Cara di atas

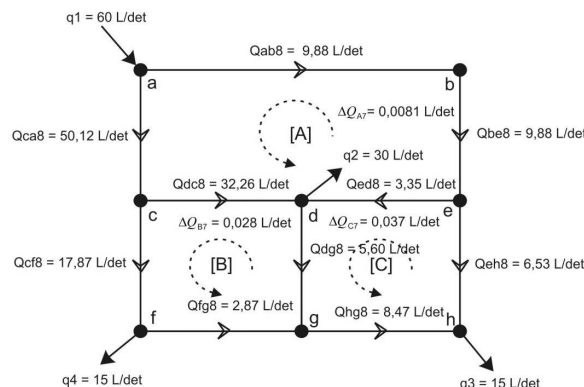
dilakukan kembali untuk debit aliran pipa yang lain. Hasilnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Hasil iterasi ke-1 dengan metode Hardy Cross

Langkah-langkah di atas kemudian diulangi pada iterasi selanjutnya sampai diperoleh nilai $\Delta Q \approx 0$ untuk setiap loop. Pada iterasi ke-7 telah

diperoleh nilai ΔQ yang sangat kecil sehingga dianggap debit aliran di setiap pipa telah benar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil iterasi ke-7 dengan metode Hardy Cross

Analisis jaringan menggunakan metode Newton-Raphson berbeda dengan analisis menggunakan metode Hardy Cross. Pada metode Newton-Raphson seluruh jaringan dianalisis secara bersamaan.

Persamaan debit (kontinuitas) di setiap node untuk jaringan pada Gambar 3 adalah:

$$\begin{aligned} F1 &= Q_{ab} + Q_{ac} - 60 = 0 \\ F2 &= Q_{ab} - Q_{be} = 0 \\ F3 &= Q_{ed} + Q_{cd} - Q_{dg} - 30 = 0 \\ F4 &= Q_{ac} - Q_{cd} - Q_{cf} = 0 \\ F5 &= Q_{eh} + Q_{gh} - 15 = 0 \\ F6 &= Q_{dg} - Q_{gh} - Q_{fg} = 0 \\ F7 &= Q_{cf} + Q_{fg} - 15 = 0 \end{aligned}$$

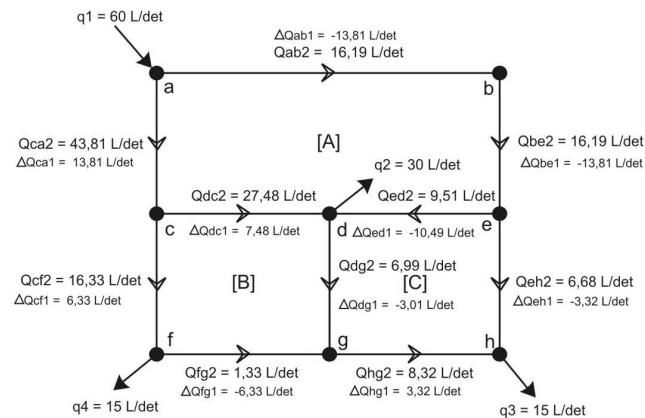
Persamaan kehilangan energi pada tiap loop adalah:

$$\begin{aligned} F8 &= K_{ab}Q_{ab}^2 + K_{be}Q_{be}^2 + K_{ed}Q_{ed}^2 - K_{cd}Q_{cd}^2 - K_{ac}Q_{ac}^2 = 0 \\ F9 &= K_{cd}Q_{cd}^2 + K_{dg}Q_{dg}^2 + K_{fg}Q_{fg}^2 - K_{cf}Q_{cf}^2 = 0 \\ F10 &= -K_{ed}Q_{ed}^2 + K_{eh}Q_{eh}^2 - K_{gh}Q_{gh}^2 - K_{dg}Q_{dg}^2 = 0 \end{aligned}$$

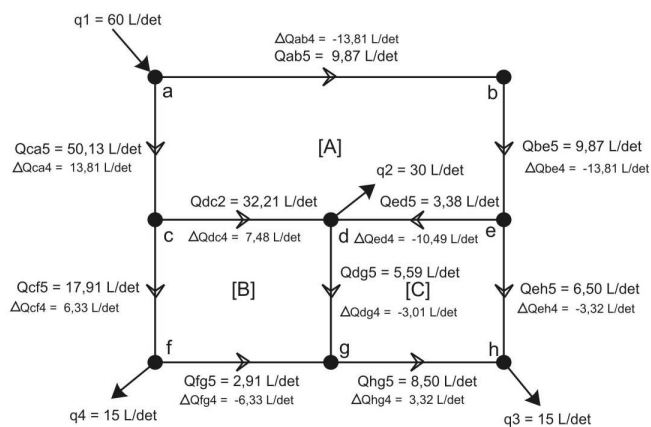
Iterasi pertama dilakukan untuk memperoleh penyelesaian nilai koreksi debit ΔQ dari matriks yang telah disusun berdasarkan persamaan debit dan kehilangan energi di atas. Debit pemisalan awal (Gambar 3) kemudian dikoreksi berdasarkan ΔQ yang telah dihasilkan pada iterasi pertama sehingga diperoleh nilai debit yang baru. Debit aliran yang baru tersebut kemudian digunakan

untuk iterasi kedua sehingga diperoleh nilai ΔQ yang baru kembali. Proses iterasi tersebut dilakukan secara berulang sampai diperoleh nilai ΔQ yang sangat kecil (mendekati nol), sehingga debit aliran pada proses iterasi tersebut dibandingkan dengan iterasi sebelumnya hampir sama.

Penyelesaian sistem jaringan yang dianalisis menggunakan metode Newton-Raphson di atas diperoleh pada iterasi ke-4. Hasil iterasi ke-1 dan ke-4 masing-masing ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



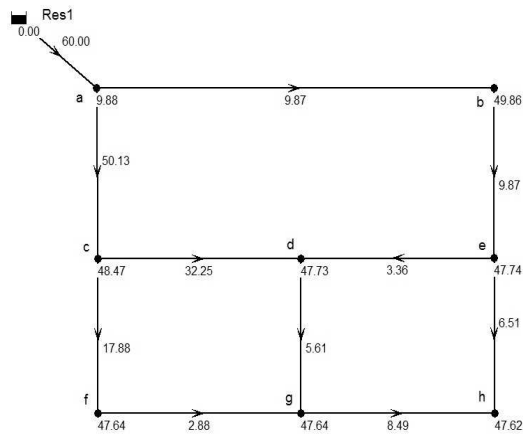
Gambar 6. Hasil iterasi ke-1 dengan metode Newton-Raphson



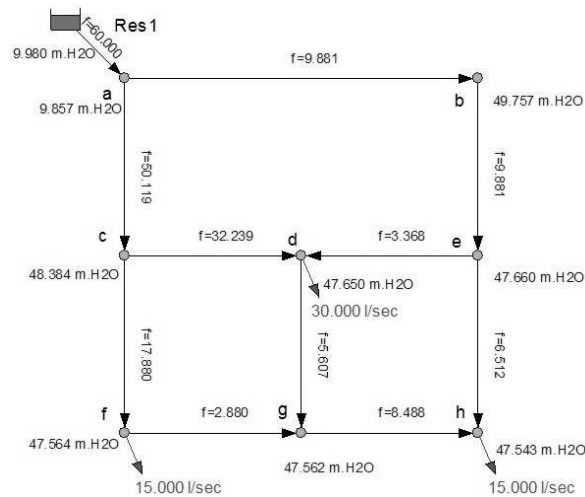
Gambar 7. Hasil iterasi ke-4 dengan metode Newton-Raphson

Analisis jaringan dengan menggunakan program komputer dilakukan dengan membangun *layout* jaringan yang ditinjau secara grafis. Setelah jaringan selesai dibangun, parameter pipa dan

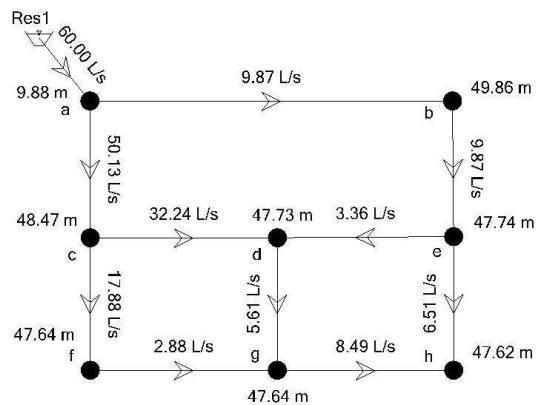
node serta pilihan analisis hidraulika terutama persamaan kehilangan energi Darcy-Weisbach harus diterapkan terlebih dahulu pada menu pilihan yang disediakan.



Gambar 8. Hasil analisis jaringan pipa menggunakan program EPANET 2.0. Q dalam L/det, dan P dalam m



Gambar 9. Hasil analisis jaringan pipa menggunakan program Pipe Flow. Q dalam L/det, dan P dalam m



Gambar 10. Hasil analisis jaringan pipa menggunakan program WaterCAD 8.0. Q dalam L/det, dan P dalam m



Analisis menggunakan metode Hardy Cross dan Newton-Raphson secara manual dibandingkan dengan menggunakan program komputer menunjukkan adanya sedikit perbedaan hasil perhitungan debit aliran di setiap pipa maupun tekanan *node*. Hal ini dapat disebabkan karena

batasan iterasi yang diterapkan dalam penelitian ini. Perbandingan hasil analisis antara program EPANET 2.0, Pipe Flow Expert 2010, dan WaterCAD 8.0 juga menunjukkan sedikit perbedaan hasil seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5 berikut.

Tabel 3. Perbandingan hasil analisis kehilangan energy

Pipa	Kehilangan Energi, h_f (m/km)				
	HC*	NR*	EPA*	PFE*	WC*
Ab	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Be	21,19	21,17	21,18	21,01	21,20
Ed	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Cd	5,94	5,92	5,94	5,89	5,92
Ac	14,06	14,06	14,07	13,96	14,10
Dg	0,89	0,89	0,90	0,89	0,90
Fg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00
Cf	8,27	8,32	8,29	8,22	8,30
eh	1,19	1,18	1,19	1,18	1,20
gh	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16
Res1-a	2,47	2,47	2,47	2,46	2,40

^{*)}Keterangan:

HC = Hardy Cross, NR = Newton-Raphson, EPA = EPANET 2.0, PFE = Pipe Flow Expert 2010, WC = WaterCAD 8.0

Tabel 4. Perbandingan hasil analisis debit aliran

Pipa	Debit, Q (L/det)				
	HC*	NR*	EPA*	PFE*	WC*
ab	9,88	9,87	9,87	9,88	9,87
be	9,88	9,87	9,87	9,88	9,87
ed	3,35	3,38	3,36	3,37	3,36
cd	32,26	32,21	32,25	32,24	32,24
ac	50,12	50,13	50,13	50,12	50,13
dg	5,60	5,59	5,61	5,61	5,61
fg	2,87	2,91	2,88	2,88	2,88
cf	17,87	17,91	17,88	17,88	17,88
eh	6,53	6,50	6,51	6,51	6,51
gh	8,47	8,50	8,49	8,49	8,49
Res1-a	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00

^{*)}Keterangan: HC = Hardy Cross, NR = Newton-Raphson, EPA = EPANET 2.0, PFE = Pipe Flow Expert 2010, WC = WaterCAD 8.0

Tabel 5. Perbandingan hasil analisis tekanan air

Node	Tekanan air, P (m)				
	HC*	NR*	EPA*	PFE*	WC*
A	9,88	9,88	9,88	9,86	9,88
B	49,86	49,86	49,86	49,77	49,86
C	48,47	48,47	48,47	48,38	48,47
D	47,73	47,73	47,73	47,65	47,73
E	47,74	47,74	47,74	47,66	47,74
F	47,64	47,64	47,64	47,56	47,64
G	47,64	47,64	47,64	47,56	47,64
H	47,62	47,62	47,62	47,54	47,62
Res1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

^{*)}Keterangan: HC = Hardy Cross, NR = Newton-Raphson, EPA = EPANET 2.0, PFE = Pipe Flow Expert 2010, WC = WaterCAD 8.0



Metode Hardy Cross memberikan kemudahan dalam hal proses perhitungan, dimana perhitungan dilakukan berdasarkan tiap *loop* dalam suatu jaringan. Walaupun demikian, peneliti perlu lebih memperhatikan dalam melakukan koreksi debit terutama tanda positif maupun negatif dari nilai koreksi debit sebagai representasi arah koreksi. Oleh karena itu, metode Hardy Cross ini memberikan peluang yang lebih besar untuk terjadi kekeliruan dalam koreksi debit di setiap iterasi yang dilakukan. Dalam hal kecepatan proses perhitungan, pada penelitian ini nilai debit yang sebenarnya diperoleh pada iterasi ke-7.

Metode Newton-Raphson sedikit lebih sulit dibandingkan dengan metode Hardy Cross, dimana dalam proses perhitungan persamaan debit dan kehilangan energi disusun dalam bentuk matriks untuk memperoleh penyelesaian nilai koreksi debit. Semakin besar jaringan yang akan

diselesaikan, maka semakin besar pula orde matriks dari persamaan debit dan kehilangan energi tersebut. Akibatnya, matriks yang besar tersebut semakin sulit untuk diselesaikan terutama dalam perhitungan invers matriks. Namun demikian, karena keseluruhan jaringan dihitung secara bersamaan, maka proses perhitungan menjadi lebih cepat dibandingkan dengan metode Hardy Cross. Selain itu, metode Newton-Raphson secara otomatis menentukan arah koreksi debit (dengan catatan bahwa penetapan persamaan debit dan kehilangan energi telah benar), sehingga peluang terjadi kekeliruan menjadi lebih kecil. Pada penelitian ini, nilai debit yang sebenarnya diperoleh pada iterasi ke-4.

Secara umum, keuntungan dan kerugian pada masing-masing metode di atas dirangkum dalam Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Keuntungan dan kerugian metode perhitungan jaringan pipa

Metode	Keuntungan	Kerugian
Hardy Cross	<ol style="list-style-type: none">1. Analisis jaringan besar dapat dibagi-bagi dalam setiap <i>loop</i> yang lebih kecil.2. Proses perhitungan lebih mudah.3. Tidak memerlukan penyelesaian matriks.	<ol style="list-style-type: none">1. Peluang terjadi kekeliruan koreksi debit cukup besar.2. Proses iterasi cukup panjang sehingga lambat dalam memperoleh nilai debit sebenarnya.
Newton-Raphson	<ol style="list-style-type: none">1. Analisis jaringan dilakukan secara bersamaan sehingga proses iterasi menjadi lebih pendek dan cepat.2. Peluang terjadi kekeliruan koreksi debit kecil.	<ol style="list-style-type: none">1. Proses perhitungan lebih sulit.2. Memerlukan penyelesaian matriks..

Program komputer menawarkan kemudahan dalam hal penyelesaian jaringan yang sangat kompleks dan besar yang dirasa sangat sulit dan membutuhkan waktu sangat lama apabila diselesaikan secara manual. Program EPANET 2.0, PipeFlow Expert 2010, dan WaterCAD 8.0 adalah beberapa jenis program komputer yang telah banyak digunakan secara luas dalam perhitungan jaringan pipa.

Program EPANET 2.0 adalah salah satu contoh program komputer yang bersifat gratis (*public domain*) sehingga memberikan keuntungan tersendiri untuk digunakan. Perhitungan jaringan pipa menggunakan EPANET 2.0 tergolong sangat cepat dibandingkan dengan kedua program yang lainnya. Dalam hal kesederhanaan dan kemudahan penggunaan, program ini lebih unggul dibandingkan dengan yang lainnya. Selain itu, program ini dapat dijalankan dengan baik pada



komputer dengan spesifikasi rendah (*low-end*), sehingga tidak memerlukan hardware yang canggih (*high-end*). Keuntungan lainnya adalah program ini mampu memodelkan jaringan dengan jumlah pipa sampai dengan jumlah yang tak terbatas (*unlimited*). Kerugian dari program EPANET 2.0 adalah fiturnya yang terbatas sehingga beberapa *tools* yang berguna untuk representasi jaringan tidak tersedia pada program ini.

Program Pipe Flow Expert 2010 memiliki keunggulan dalam hal tampilan untuk memberikan kemudahan dalam representasi jaringan yang dibangun. Salah satu keunggulan tersebut yang tidak dimiliki oleh kedua program lainnya adalah penampilan jaringan pipa secara 3 dimensi (3D). Penggambaran jaringan secara 3D tersebut akan sangat membantu dalam analisis jaringan seperti instalasi pipa air minum untuk gedung bertingkat. Proses perhitungan dengan program ini juga tergolong cepat namun tidak secepat program EPANET 2.0. Program Pipe Flow Expert 2010 sesungguhnya ditujukan untuk analisis jaringan pipa secara umum (tidak secara khusus untuk jaringan pipa air minum), misalnya dapat digunakan untuk perhitungan aliran minyak maupun gas dalam pipa. Oleh karena itu, program ini memiliki cakupan penggunaan yang lebih luas. Spesifikasi

komputer yang diperlukan untuk menjalankan program ini juga tidak terlalu tinggi. Kerugian dari program ini adalah akses terhadap hasil analisis yang dianggap sedikit kaku. Selain itu, program ini tidak dilengkapi dengan *tools* untuk menganalisis kualitas air dalam jaringan pipa.

Program WaterCAD 8.0 merupakan program khusus yang dirancang untuk analisis jaringan pipa air minum baik perhitungan kuantitas maupun kualitas air dalam jaringan. Keunggulan program ini adalah terletak pada kelengkapan fitur untuk memudahkan representasi jaringan yang dibangun. Selain itu, program ini mampu digunakan untuk pengamatan suatu jaringan pipa secara *real time* menggunakan perangkat SCADA. Kompatibilitas program ini dengan program CAD lain sejenis AutoCAD juga merupakan kelebihan tersendiri. Jaringan yang dibangun pada program EPANET 2.0 pun bisa digunakan pada program WaterCAD 8.0. Walaupun demikian, program ini membutuhkan komputer dengan spesifikasi yang tinggi (*high-end*). Selain itu, kekurangan lainnya adalah proses perhitungan yang lebih lambat dibandingkan dengan kedua program lainnya.

Secara umum, keuntungan dan kerugian pada masing-masing program komputer di atas dirangkum dalam Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Keuntungan dan kerugian program komputer

Aspek Program	EPANET 2.0	Pipe Flow Expert 2010	WaterCAD 8.0
Biaya	Gratis	Komersial	Komersial
Kemudahan & Kesederhanaan (<i>user friendly</i>)	***	**	*
Tampilan	*	***	**
Kelengkapan fitur (<i>tools</i>)	*	**	***
Kecepatan proses analisis	***	**	*
Spesifikasi komputer yang dibutuhkan	*	**	***
Fleksibilitas akses	**	*	***
Analisis kualitas air	Ya	Tidak	Ya
Kompatibilitas dengan AutoCAD	Ya	Tidak	Ya

)Keterangan: * = rendah, ** = menengah, * = tinggi*



KESIMPULAN DAN SARAN

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini diantaranya adalah:

1. Hasil perhitungan jaringan pipa secara manual menggunakan metode Hardy Cross dan Newton Raphson hampir sama dengan hasil perhitungan menggunakan program EPANET 2.0, Pipe Flow Expert 2010, dan WaterCAD 8.0.
2. Dalam hal metode perhitungan, metode Hardy Cross lebih mudah dibandingkan dengan metode Newton Raphson, karena analisis jaringan yang besar dapat dibagi-bagi menjadi lebih kecil berdasarkan jumlah *loop*.
3. Dalam hal kecepatan perhitungan, metode Newton-Raphson lebih cepat dibandingkan dengan metode Hardy Cross, karena analisis setiap *loop* dalam jaringan dilakukan secara bersamaan. Pada penelitian ini, kecepatan perhitungan menggunakan metode Newton-Raphson hampir dua kali lebih cepat dibandingkan dengan metode Hardy Cross.
4. Program komputer sangat memudahkan, memberikan hasil yang cepat dan akurat dalam analisis jaringan yang kompleks dan besar, dimana analisis tersebut dirasa sulit dan membutuhkan waktu yang lama apabila dilakukan secara manual.

Beberapa saran yang dapat penulis sampaikan diantaranya adalah:

1. Pada jaringan pipa yang kecil penggunaan metode Newton-Raphson lebih disarankan. Sedangkan untuk analisis jaringan yang lebih besar disarankan menggunakan metode Hardy Cross.

2. Penggunaan program komputer dalam perhitungan jaringan pipa agar lebih digunakan secara luas baik oleh peneliti, industri, maupun instansi seperti PDAM yang berkecimpung dalam bidang jaringan pipa air minum, namun dengan tidak mengabaikan dasar teori analisis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Mays, L.W., 2000, *Water Distribution Systems Handbook*, McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- Mays, L.W., 2001, *Water Resources Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Swamee, K.P., dan Ashok, K.S., 2008, *Design of Water Supply Pipe Networks*, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Triatmadja, R., 2009, *Hidraulika Sistem Jaringan Perpipaan Air Minum*, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, B., 2003, *Hidraulika II*, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.