ANALISA LAJU ALIRAN FLUIDA PADA SISTEM JARINGAN PIPA DISTRIBUSI AIR BERSIH DI KAWASAN KAMPUS ITB GANESHA DENGAN METODE HARDY-CROSS

Raden Fajar Taufik Ismail[1], Wisnu Wijaya*[2]

[1]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana,
Jl. PHH. Mustofa No. 68, Bandung 40124

Abstrak

Salah satu hal penting untuk kebutuhan sehari-hari ialah distribusi air bersih. Pendistribusian air bersih biasanya menggunakan jaringan pipa, tetapi hal ini merupakan persoalan yang sangat kompleks dan memerlukan perhitungan yang teliti karena faktor kehilangan tinggi tekanan perlu diperhatikan. Untuk menentukan distribusi debit aliran fluida dan kehilangan tinggi tekanan pada satu titik tertentu, maka digunakan analisis laju aliran fluida pada jaringan pipa distribusi air bersih yang bertujuan agar air bersih dapat terdistribusi dengan baik. Metode Hardy-Cross merupakan salah satu metode untuk menganalisa jaringan pipa, metode ini menggunakan proses iterasi sehingga diperlukan ketelitian yang tinggi dengan dibantu program komputer Ms. Excel. Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yang pertama ialah mengumpulkan data seperti kebutuhan air bersih di kawasan ITB, dimensi pipa yang digunakan. Tahapan selanjutnya adalah menghitung debit dan kehilangan tinggi tekanan yang dilakukan dengan menggunakan metode Hardy-Cross dan menggunakan persamaan Hazen-William. Dari tahapan-tahapan yang telah dilakukan, maka akan mendapatkan nilai debit aliran optimal, nilai head loss mayor, dan arah aliran air.

Kata Kunci: *aliran fluida, distribusi air bersih, Hardy-Cross, head loss*

Abstract

[ANALYSIS OF FLUID FLOW RATE ON CLEAN WATER DISTRIBUTION PIPE NETWORK SYSTEM IN ITB GANESHA CAMPUS WITH HARDY-CROSS METHOD] *One of the important things for daily needs is the distribution of clean water. The distribution of clean water usually uses a pipe network, but this is a very complex problem and requires careful calculations because the high-pressure loss factor needs to be considered. To determine the distribution of fluid flow discharge and high-pressure loss at a certain point, an analysis of the fluid flow rate in the clean water distribution pipe network is used to ensure that clean water is well distributed. The Hardy-Cross method is one method for analyzing pipelines, this method uses an iteration process so that high accuracy is needed with the help of Ms. Excel. The first steps in this research are collecting data such as the need for clean water in the ITB area, the dimensions of the pipes used. The next step is to calculate the discharge and pressure loss using the Hardy-Cross method and the Hazen-William equation. From the steps that have been carried out, it will get the optimal flow rate value, the major head loss value, and the direction of the water flow.*

Keywords*: fluid flow, clean water distribution, Hardy-Cross, head loss*

1. Pendahuluan

Air bersih merupakan jenis sumber daya air yang bermutu baik untuk dikonsumsi masyarakat luas, umumnya digunakan untuk kebutuhan sehari–hari (Shidiq, Riduan, and Abdi 2020) demikian pula untuk sivitas akademik kampus ITB Ganesha. Kawasan ITB Ganesha mempunyai luas 33.06 Hektar.

Untuk memenuhi kebutuhan air bersih, ITB Ganesha mendapat pasokan sumber air dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) dan lima sumur artesis yang tersebar di kawasan kampus. ITB memiliki pengolahan air sendiri atau disebut Water Treatment Plant (WTP) dan sistem distribusi air bersih tersusun atas reservoir, pompa dan tiga generasi jalur ring perpipaan distribusi air bersih bawah.

Generasi pertama pipa berbahan Cast Iron dibuat kisaran tahun 1970 menggunakan sistem jaringan perpipaan bercabang (branch system), generasi kedua pipa berbahan PVC dengan jenis sambungan Solvent Cement Joint (SCJ) dibuat pada kisaran tahun 1980 menggunakan sistem jaringan perpipaan melingkar pada setiap zona (loop system) , terakhir generasi ketiga dibuat pada tahun 1996 pipa berbahan PVC dengan jenis sambungan Rubber Ring Joint (RRJ) menggunakan sistem jaringan perpipaan

*Penulis Korespondensi.
E-mail: nusiwis@gmail.com

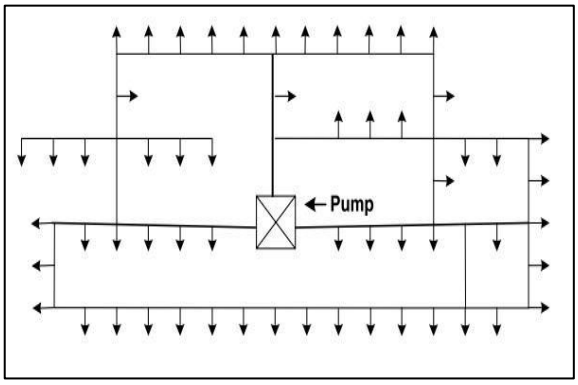
melingkar pada setiap zona (loop system) (Swamee and Sharma 2008). Sistem distribusi air bersih berperan penting bagi operasional, yang mana ITB Ganesha mempunyai reservoir utama dan sistem distribusi air bersih ini yang menyuplai ke setiap reservoir gedung-gedung yang berada di kawasan Kampus ITB Ganesha. Dengan menggunakan mesin pompa sentrifugal yang dijalankan berdasarkan factor beban puncak pemakaian air.

Sistem perpipaan distribusi air bersih banyak mengalami perubahan terutama pada penambahan output, dikarenakan adanya gedung-gedung baru yang memerlukan suplai air (Nasional 2011). Oleh karena itu penulis tertarik untuk Analisis laju aliran pada setiap pipa yang terdapat pada jaringan distribusi air bersih kampus ITB. Air bersih merupakan jenis sumber daya air yang bermutu baik untuk dikonsumsi masyarakat luas, umumnya digunakan untuk kebutuhan sehari–hari demikian pula untuk sivitas akademik kampus ITB Ganesha Kawasan ITB Ganesha mempunyai luas 33.06 Hektar.

2. Metode Penelitian

Sistem Melingkar (loop)

Pipa induk utama terletak mengelilingi daerah layanan. Pengambilan dibagi menjadi dua dan masing-masing mengelilingi batas daerah layanan, dan keduanya bertemu kembali di ujung. Pipa perlintasan (cross) menghubungkan kedua pipa induk utama. Di dalam daerah layanan, pipa pelayanan utama terhubung dengan pipa induk utama membentuk konfigurasi loop yang komplek (Kayana, Pasek Nugraha, and Dantes 2018).



Gambar 1. Sistem Melingkar (Loop)

Kelebihan sistem melingkar (loop):
a. Setiap titik mendapat suplai dari dua arah.
b. Saat terjadi kerusakan pipa, air dapat disediakan dari arah lain.
c. Untuk memadamkan kebakaran, air tersedia dari segala arah.
d. Desain pipa mudah.

Kekurangan sistem melingkar (loop):
a. Membutuhkan lebih banyak pipa.
b. Head los lebih besar

Pemilihan sistem pipa distribusi ditinjau dari kondisi topografi, lokasi reservoir, luas pelayanan, jumlah pelayanan dan jaringan jalan dimana pipa akan dipasang. Pada Tabel 1 dijelaskan kriteria tentang pipa distribusi.

Tabel 1. Contoh Penyisipan Tabel (Lewis)

`	**Uraian**	**Notasi**	**Kriteria**
1	Debit Perencanaan	Q puncak	Kebutuhan air jam puncak Q peak = F peak x Q rata-rata
2	Faktor jam puncak	F.puncak	1,15 – 3
3	Kecepatan aliran air dalam pipa		
	a.Kecepatan minimum	V min	0,3-0,6 m/det
	b.Kecepatan maksimum	V max	
	Pipa PVC atau ACP	V max	3,0-4,5 m/det
	Pipa baja atau DCIP		6,0 m/det
4	Tekanan air dalam pipa	h min	(0,5-1,0) atm, pada titik jangkauan pelayanan terjauh.
	a.Tekanan minimum		
		h max	
	b.Tekanan maksimum	h max	6 - 8 atm
		h max	10 atm
	- Pipa PVC atau ACP	h max	12.4 MPa
	- Pipa baja atau DCIP		9.0 MPa
	- Pipa PE 100		
	- Pipa PE 80		

Analisis Pipa Distribusi

Perhitungan Aliran

Apabila zat cair tak kompresibel mengalir secara kontinyu melalui pipa atau saluran, dengan tampang aliran konstan ataupun tidak konstan, maka volume zat cair yang lewat tiap satuan waktu adalah sama di semua tampang. Keadaan ini disebut dengan hukum kontinuitas aliran zat cair. Atau lebih sederhananya debit yang masuk kedalam penampang sama dengan debit yang keluar (Kayana, Nugraha, and Dantes 2019).

$$Q \text{ masuk} = Q \text{ keluar } A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 \quad (1)$$

Dimana:
Q_1, Q_2 = Debit aliran (m3/det)
A_1, A_2 = Luas penampang (m3)

V_1,V_2 = Kecepatan aliran (m/det)

(Bambang triatmodjo 1965)

Kehilangan tekanan maksimum 10 m/km panjang pipa. Kehilangan tekanan (hf) dalam pipa terjadi akibat adanya friction antara fluida dengan permukaan pipa. Kehilangan tekanan sepanjang pipa lurus disebut sebagai kehilangan tekanan mayor. Perhitungan kehilangan tekanan mayor dapat menggunakan rumus Hanzen William (Nurcholis 2008):

$$h_f = \frac{10.704L}{C^n d^{4,871}} Q^n \qquad (2)$$

dengan:
hf = kehilangan tekanan, dalam m
L = panjang pipa, dalam m
Q = debit, dalam m3/detik
C = koefisien Hazen William untuk pipa
d = diameter pipa, dalam m

dan dapat diekspresikan dalam bentuk umum sebagai berikut:

$$h_f = KQ^n \qquad (3)$$

dengan:
hf = kehilangan tekanan, dalam m
K = konstanta koreksi pipa
n = 1.85 untuk persamaan Hazen-Williams

Dianggap bahwa karakteristik pipa dan aliran yang masuk dan meninggalkan jaringan pipa diketahui dan akan dihitung debit pada setiap elemen dari jaringan tersebut. Jika tekanan pada seluruh jaringan juga dihitung maka tinggi tekanan pada satu titik harus diketahui (Triatmodjo 2008).
Prosedur perhitungan dengan metode Hardy Cross adalah sebagai berikut:

1. Pilih pembagian debit melalui tiap-tiap pipa *Qo* hingga terpenuhi syarat kontinuitas.
2. Hitung kehilangan tekanan pada tiap pipa dengan rumus: $hf=K.Q^n$
3. Jaringan pipa dibagi menjadi sejumlah jaring tertutup sedemikian sehingga tiap pipa termasuk dalam paling sedikit satu jaring.
4. Hitung jumlah kerugian tinggi tenaga sekeliling tiap-tiap jaring, yaitu $\sum hf$. Jika pengaliran seimbang maka $\sum hf = 0$.
5. Hitung nilai $\sum |nkQ|$ untuk tiap jaring.
6. Pada tiap jaring diadakan koreksi debit ΔL, supaya kehilangan tinggi tenaga dalam jaring seimbang.Adapun koreksinya adalah sebagai berikut

$$\Delta L = \frac{\boldsymbol{kQ}o^n}{|n\boldsymbol{kQ}o|} \qquad (4)$$

7. Dengan debit yang telah dikoreksi sebesar $Q = Qo+\Delta L$, prosedur dari 1 sampai 6 diulangi hingga akhirnya $\Delta L \approx 0$, dengan *Q* adalah debit sebenarnya, *Qo* adalah debit yang dimisalkan dan ΔL adalah debit koreksi.

Pada jaringan pipa harus dipenuhi dari persamaan kontinuitas dan tenaga yaitu (Staponkus 2011):

a. Aliran masuk ke dalam tiap-tiap titik simpul harus sama dengan aliran yang keluar.

$\Sigma Qi = 0$

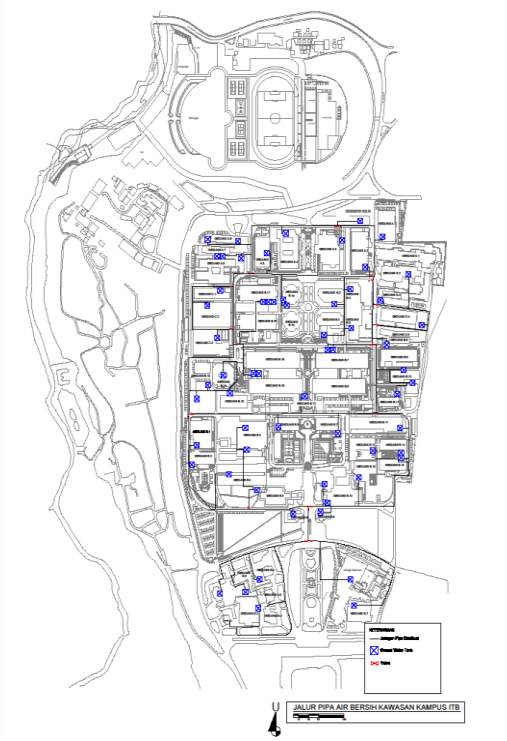
b. Jumlah aljabar dari kehilangan tenaga dalam satu jaringan tertutup harus sama dengan

$\Sigma hf = 0$

Pemilihan sistem pipa distribusi ditinjau dari kondisi topografi, lokasi reservoir, luas pelayanan, jumlah pelayanan dan jaringan jalan dimana pipa akan dipasang. Judul bab ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan, misalnya dapat berupa "Tinjauan Pustaka", atau "Landasan Teori", atau dapat juga berupa "Penelitian Terkait". Bab ini memuat landasan teori atau ulasan singkat teori yang dibutuhkan untuk menunjang pelaksanaan penelitian, baik berupa kajian literatur maupun kajian atas penelitian yang sebelumnya. Sitasi / rujukan yang digunakan adalah format APA Fifth Edition seperti contoh (Fruhling & Lee, 2005).

3. Hasil dan Pembahasan

Pemetaan Pipa Distribusi



Gambar 2. Peta Jaringan Pipa ITB Hasil Survey

Debit Aliran keluar

Besarnya kapasitas beban puncak ditentukan dengan rumus:

Q peak = F peak x Q rata-rata (5)

Dimana F jam puncaknya sebesar 3

Hasil perhitungan jam puncak pemakaian air setiap gedung didapatkan hasil sebagai berikut:

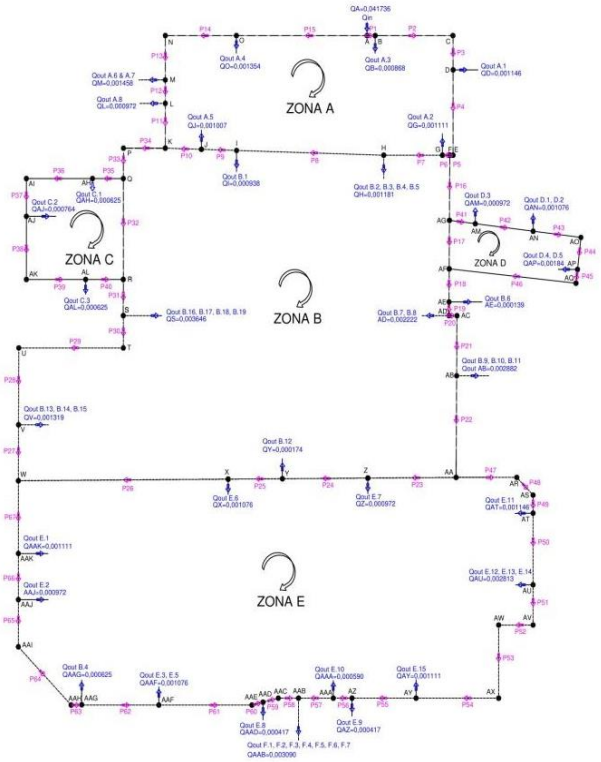
Tabel 2. Contoh Penyisipan Tabel (Lewis)

No	Kode Gedung	Q m3/hari	Q peak m3/detik
1	Gedung A.1	33	0,001145833
2	Gedung A.2	32	0,001111111
3	Gedung A.3	25	0,000868056
4	Gedung A.4	39	0,001354167
5	Gedung A.5	29	0,001006944
6	Gedung A.6	18	0,000625
7	Gedung A.7	24	0,000833333
8	Gedung A.8	28	0,000972222
9	Gedung B.1	27	0,0009375
10	Gedung B.2	11	0,000381944
11	Gedung B.3	5	0,000173611
12	Gedung B.4	9	0,0003125
13	Gedung B.5	9	0,0003125
14	Gedung B.6	4	0,000138889
15	Gedung B.7	32	0,001111111
16	Gedung B.8	32	0,001111111
17	Gedung B.9	33	0,001145833
18	Gedung B.10	32	0,001111111
19	Gedung B.11	18	0,000625
20	Gedung B.12	5	0,000173611
21	Gedung B.13	5	0,000173611
22	Gedung B.14	5	0,000173611
23	Gedung B.15	28	0,000972222
24	Gedung B.16	25	0,000868056
25	Gedung B.17	27	0,0009375
26	Gedung B.18	28	0,000972222
27	Gedung B.19	25	0,000868056
28	Gedung C.1	18	0,000625
29	Gedung C.2	22	0,000763889
30	Gedung C.3	18	0,000625
31	Gedung D.1	22	0,000763889
32	Gedung D.2	9	0,0003125
33	Gedung D.3	28	0,000972222
34	Gedung D.4	28	0,000972222
35	Gedung D.5	25	0,000868056
36	Gedung E.1	32	0,001111111
37	Gedung E.2	28	0,000972222
38	Gedung E.3	17	0,000590278
39	Gedung E.4	18	0,000625
40	Gedung E.5	14	0,000486111
41	Gedung E.6	31	0,001076389
42	Gedung E.7	28	0,000972222
43	Gedung E.8	12	0,000416667
44	Gedung E.9	12	0,000416667
45	Gedung E.10	17	0,000590278
46	Gedung E.11	33	0,001145833
47	Gedung E.12	27	0,0009375
48	Gedung E.13	26	0,000902778
49	Gedung E.14	28	0,000972222
50	Gedung E.15	32	0,001111111
51	Gedung F.1	4	0,000138889
52	Gedung F.2	28	0,000972222
53	Gedung F.3	14	0,000486111
54	Gedung F.4	12	0,000416667
55	Gedung F.5	5	0,000173611
56	Gedung F.6	4	0,000138889
57	Gedung F.7	22	0,000763889

Data Jaringan Pipa

Bahan Pipa	: PVC
Panjang dan diameter pipa	: Tabel 3
Fluida yang bekerja	: Air
Jumlah Loop	: 5
Jumlah Sumber Air Masuk	: 1
Jumlah Pengeluaran	: 35

Analisa jaringan pipa menggunakan metode Hardy-Cross yaitu dengan metode iterasi. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah membuat sketsa jaringan distribusi air, disini peneliti menggunakan aplikasi AutoCad dapat dilihat seperti dalam gambar 3, pada iterasi pertama dilakukan asumsi untuk arah aliran searah dengan jarum jam seperti dalam gambar 3, untuk debit aliran air yang mengalir pada setiap pipa yang didapat dari asumsi dari hasil persamaan kontinuitas seperti dalam tabel 3.



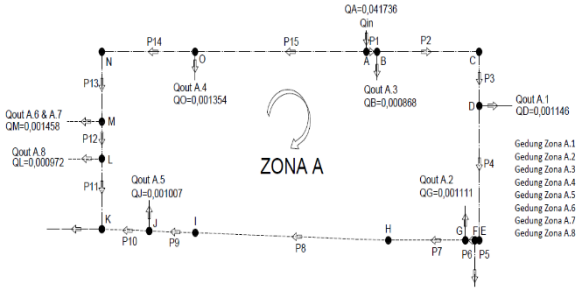
Gambar 3. Asusmsi Debit dan Arah Aliran Air

Tabel 3. Panjang dan Diameter Pipa

No pipa	Panjang pipa L (m)	Diameter pipa D (m)	Ausmsi debit m3/detik
1	6.9	0.2	0,023681
2	66.5	0.2	0,022813
3	27	0,2	0,022813
4	67,3	0,2	0,021667
5	2,8	0,2	0,021667
6	6,2	0,1	0,004236
7	50,2	0,1	0,003125
8	126	0,1	0,001944
9	30	0,1	0,001007
10	30,9	0,1	0,000000
11	35,3	0,2	0,014271
12	18,5	0,2	0,015243
13	35	0,2	0,016701
14	60,8	0,2	0,016701
15	111,7	0,2	0,018056
16	51,4	0,15	0,017431
17	38,2	0,15	0,013542
18	26,1	0,15	0,013542
19	10,7	0,15	0,013403
20	6,8	0,15	0,011181
21	47,4	0,15	0,011181
22	80,2	0,15	0,008299
23	75,6	0,1	0,002222
24	73,1	0,1	0,001250
25	46,4	0,1	0,001076
26	179,6	0,1	0,000000
27	44,2	0,1	0,007292
28	60,6	0,1	0,008611
29	89,4	0,1	0,008611
30	25,5	0,1	0,008611
31	28,5	0,15	0,012257
32	79,6	0,15	0,012257
33	24	0,2	0,014271
34	30,9	0,2	0,014271
35	26,4	0,05	0,002014
36	56,6	0,05	0,001389
37	29,8	0,05	0,001389
38	49,8	0,05	0,000625
39	50,7	0,05	0,000625
40	32,2	0,05	0,000000
41	22,3	0,075	0,003889
42	49,8	0,075	0,002917
43	41,2	0,075	0,001840
44	25,3	0,075	0,001840
45	10,9	0,075	0,000000
46	109,1	0,075	0,000000
47	51,8	0,1	0,006076
48	19,7	0,1	0,006076
49	14,2	0,1	0,006076
50	56,5	0,1	0,004931
51	31,7	0,1	0,002118
52	29,4	0,1	0,002118
53	57,7	0,1	0,002118
54	70,7	0,1	0,002118
55	54,8	0,1	0,001007
56	16	0,1	0,000590
57	29,8	0,1	0,000000
58	17,2	0,1	0,003090
59	13,4	0,1	0,003090
60	9,7	0,1	0,003507
61	79,6	0,1	0,003507
62	66	0,1	0,004583
63	8,9	0,1	0,005208
64	64,5	0,1	0,005208
65	37,2	0,1	0,005208
66	36,4	0,1	0,006181
67	57.4	0,1	0,007292

Proses Iterasi

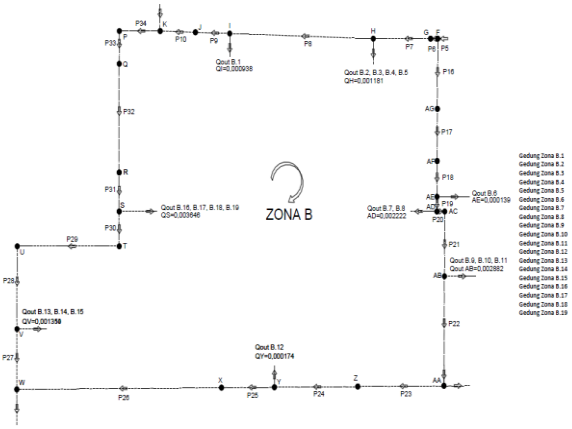
Iterasi 1 pada loop A



Gambar 4. Loop A

Tabel 4. Iterasi pada Loop A

No Pipa	K	Qo (m^3/s)	hf	Nhf/Q	ΔL
1	26,7050	0,0237	0,0263	2,0512	-1,04 E-03
2	257,3744	0,0228	0,2361	19,1507	-1,04 E-03
3	104,4979	0,0228	0,0959	7,7755	-1,04 E-03
4	260,4706	0,0217	0,2173	18,5504	-1,04 E-03
5	10,8368	0,0217	0,0090	0,7718	-1,04 E-03
6	702,1865	0,0042	0,0286	12,4895	-1,04 E-03
7	5685,4457	0,0031	0,1319	78,0834	-1,04 E-03
8	14270,2421	0,0019	0,1376	130,9421	-1,04 E-03
9	3397,6767	0,0010	0,0097	17,8200	-1,04 E-03
10	3499,6070	0,0000	0,0000	0,0000	-1,04 E-03
11	136,6213	-0,0143	-0,0526	6,8229	-1,04 E-03
12	71,6004	-0,0152	-0,0312	3,7818	-1,04 E-03
13	135,4602	-0,0167	-0,0698	7,7326	-1,04 E-03
14	235,3137	-0,0167	-0,1213	13,4326	-1,04 E-03
15	432,3116	-0,0181	-0,2574	26,3686	-1,04 E-03
		Total	0,36018	345,7731	

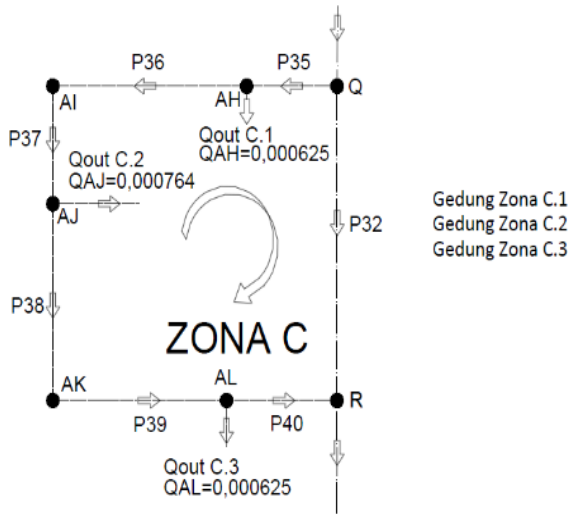


Gambar 5. Loop B

Tabel 5. Iterasi pada Loop B

No Pipa	K	Qo (m^3/s)	hf	Nhf/Q	ΔL
6	702,1865	-0,0042	-0,0286	12,4895	2,08 E-03
7	5685,4457	-0,0031	-0,1319	78,0834	2,08 E-03
8	14270,2421	-0,0019	-0,1376	130,9421	2,08 E-03
9	3397,6767	-0,0010	-0,0097	17,8200	2,08 E-03
10	3499,6070	0,0000	0,0000	0,0000	2,08 E-03
16	807,7619	0,0174	0,4505	47,8156	2,08 E-03
17	600,3211	0,0135	0,2099	28,6732	2,08 E-03
18	410,1671	0,0135	0,1434	19,5909	2,08 E-03
19	168,1528	0,0134	0,0577	7,9614	2,08 E-03
20	106,8634	0,0112	0,0262	4,3371	2,08 E-03
21	744,9011	0,0112	0,1827	30,2318	2,08 E-03
22	1260,3601	0,0083	0,1781	39,7028	2,08 E-03
23	8562,1452	0,0022	0,1057	88,0083	2,08 E-03
24	8279,0055	0,0013	0,0353	52,1823	2,08 E-03
25	5255,0733	0,0011	0,0170	29,1692	2,08 E-03

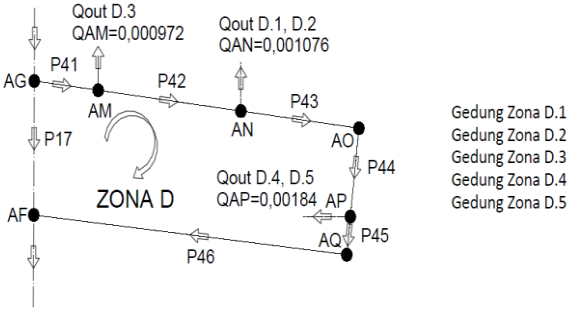
No Pipa	K	Qo (m^3/s)	hf	Nhf/Q	ΔL
26	20340,7577	0,0000	0,0000	0,0000	2,08E-03
27	5005,9103	-0,0073	-0,5568	141,2725	2,08E-03
28	6863,3069	-0,0086	-1,0385	223,1030	2,08E-03
29	10125,0765	-0,0086	-1,5320	329,1322	2,08E-03
30	2888,0252	-0,0086	-0,4370	93,8800	2,08E-03
31	447,8836	-0,0123	-0,1302	19,6545	2,08E-03
32	1250,9310	-0,0123	-0,3637	54,8946	2,08E-03
33	92,8870	-0,0143	-0,0358	4,6388	2,08E-03
34	119,5920	-0,0143	-0,0461	5,9725	2,08E-03
		Total	-3,04142	1459,5558	



Gambar 6. Loop C

Tabel 6. Iterasi pada Loop C

No Pipa	K	Qo (m^3/s)	hf	Nhf/Q	ΔL
32	1,251E+03	1,226E-02	3,637E-01	5,489E+01	6,00E-04
35	8,749E+04	-2,014E-03	-9,004E-01	8,271E+02	6,00E-04
36	1,876E+05	-1,389E-03	-9,708E-01	1,293E+03	6,00E-04
37	9,876E+04	-1,389E-03	-5,111E-01	6,808E+02	6,00E-04
38	1,650E+05	-6,250E-04	-1,950E-01	5,771E+02	6,00E-04
39	1,680E+05	-6,250E-04	-1,985E-01	5,876E+02	6,00E-04
40	1,067E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,00E-04
		Total	-2,41213	4020,6681	

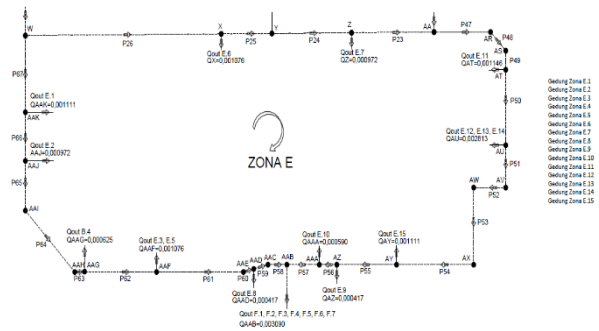


Gambar 7. Loop D

Tabel 7. Iterasi pada Loop D

No Pipa	K	Qo (m^3/s)	hf	Nhf/Q	ΔL
17	600,3211	-0,0135	-0,2099	28,6732	-1,15E-03
41	10255,1554	0,0039	0,3565	169,6156	-1,15E-03
42	22901,6474	0,0029	0,4676	296,6144	-1,15E-03
43	18946,7444	0,0018	0,1650	165,9041	-1,15E-03
44	11634,7727	0,0018	0,1013	101,8780	-1,15E-03
45	5012,6096	0,0000	0,0000	0,0000	-1,15E-03

No Pipa	K	Qo (m^3/s)	hf	Nhf/Q	ΔL
46	50172,0830	0,0000	0,0000	0,0000	-1,15E-03
17		Total	0,8807	762,6853	



Gambar 8. Loop E

Tabel 8. Iterasi pada Loop E

No Pipa	K	Qo (m^3/s)	hf	Nhf/Q	ΔL
23	8562,1452	-0,0022	-0,1057	88,0083	7,81E-04
24	8279,0055	-0,0013	-0,0353	52,1823	7,81E-04
25	5255,0733	-0,0011	-0,0170	29,1692	7,81E-04
26	20340,7577	0,0000	0,0000	0,0000	7,81E-04
47	5866,6551	0,0061	0,4657	141,7950	7,81E-04
48	2231,1410	0,0061	0,1771	53,9259	7,81E-04
49	1608,2336	0,0061	0,1277	38,8705	7,81E-04
50	6398,9578	0,0049	0,3451	129,4919	7,81E-04
51	3590,2117	0,0021	0,0406	35,4273	7,81E-04
52	3329,7232	0,0021	0,0376	32,8569	7,81E-04
53	6534,8648	0,0021	0,0738	64,4845	7,81E-04
54	8007,1914	0,0021	0,0905	79,0130	7,81E-04
55	6206,4227	0,0010	0,0177	32,5513	7,81E-04
56	1812,0942	0,0006	0,0019	6,0360	7,81E-04
57	3375,0255	0,0000	0,0000	0,0000	7,81E-04
58	1948,0013	-0,0031	-0,0443	26,5008	7,81E-04
59	1517,6289	-0,0031	-0,0345	20,6460	7,81E-04
60	1098,5821	-0,0035	-0,0315	16,6416	7,81E-04
61	9015,1688	-0,0035	-0,2589	136,5637	7,81E-04
62	7474,8887	-0,0046	-0,3522	142,1611	7,81E-04
63	1007,9774	-0,0052	-0,0602	21,3706	7,81E-04
64	7305,0049	-0,0052	-0,4360	154,8767	7,81E-04
65	4213,1191	-0,0052	-0,2515	89,3243	7,81E-04
66	4122,5144	-0,0062	-0,3377	101,0898	7,81E-04
67	6500,8881	-0,0073	-0,7231	183,4625	7,81E-04
		Total	-1,3101	1676,4489	

Dalam proses iterasi hasilnya dapat merubah arah aliran dan debit aliran air, maka perhitungan selanjutnya berdasarkan debit aliran air yang baru yang telah terkoreksi oleh koreksi sesatan loop Δ L, iterasi dihentikan apabila Δ L ≈ 10-6. Hasil akhir pada perhitungan iterasi yang dilakukan sebanyak 7 iterasi seperti dalam tabel 4.10. Dari hasil iterasi pertama, koreksi sesatan loop Δ L untuk setiap loop jaringan pipa

$$\Delta L A = -0{,}001041678$$

$$\Delta L B = 0{,}002083795$$

$$\Delta L C = 0{,}000599933$$

$$\Delta L D = -0{,}001154705$$

$$\Delta L E = 0{,}000781456$$

Tabel 9. Nilai Qo Hasil Proses Iterasi Pertama

No Pipa	Ausmsi	Iterasi Ke-1	No Pipa	Ausmsi	Iterasi Ke-1
1	0,02368	0,02160	35	0,00201	0,00081
2	0,02281	0,02073	36	0,00139	0,00019
3	0,02281	0,02073	37	0,00139	0,00019
4	0,02167	0,01958	38	0,00063	0,00057
5	0,02167	0,01958	39	0,00063	0,00057
6	0,00424	0,00201	40	0,00000	0,00120
7	0,00313	0,00313	41	0,00389	0,00158
8	0,00194	0,00431	42	0,00292	0,00061

No Pipa	Ausmsi	Iterasi Ke-1	No Pipa	Ausmsi	Iterasi Ke-1
9	0,00101	0,00524	43	0,00184	0,00047
10	0,00000	0,00625	44	0,00184	0,00047
11	0,01427	0,01635	45	0,00000	0,00231
12	0,01524	0,01733	46	0,00000	0,00231
13	0,01670	0,01878	47	0,00608	0,00764
14	0,01670	0,01878	48	0,00608	0,00764
15	0,01806	0,02014	49	0,00608	0,00764
16	0,01743	0,02160	50	0,00493	0,00649
17	0,01354	0,02002	51	0,00212	0,00368
18	0,01354	0,01771	52	0,00212	0,00368
19	0,01340	0,01757	53	0,00212	0,00368
20	0,01118	0,01535	54	0,00212	0,00368
21	0,01118	0,01535	55	0,00101	0,00257
22	0,00830	0,01247	56	0,00059	0,00215
23	0,00222	0,00483	57	0,00000	0,00156
24	0,00125	0,00385	58	0,00309	0,00153
25	0,00108	0,00368	59	0,00309	0,00153
26	0,00000	0,00260	60	0,00351	0,00194
27	0,00729	0,00312	61	0,00351	0,00194
28	0,00861	0,00444	62	0,00458	0,00302
29	0,00861	0,00444	63	0,00521	0,00365
30	0,00861	0,00444	64	0,00521	0,00365
31	0,01226	0,00809	65	0,00521	0,00365
32	0,01226	0,00929	66	0,00618	0,00462
33	0,01427	0,01010	67	0,00729	0,00573
34	0,01427	0,01010			

Hasil debit aliran baru untuk setiap pipa pada table 9 didapat dari persamaan:

Qo1 baru = Qo1 lama+Δ LA
Qo2 baru = Qo2 lama+Δ LA
Qo3 baru = Qo3 lama+Δ LA
Qo4 baru = Qo4 lama+Δ LA
Qo5 baru = Qo5 lama+Δ LA
Qo6 baru = Qo6 lama+Δ LA−Δ LB
Qo7 baru = Qo7 lama+Δ LA−Δ LB
Qo8 baru = Qo8 lama+Δ LA−Δ LB
Qo9 baru = Qo9 lama+Δ LA−Δ LB
Qo10 baru = Qo10 lama+Δ LA−Δ LB
Qo11 baru = Qo11 lama+Δ LA
Qo12 baru = Qo12 lama+Δ LA
Qo13 baru = Qo13 lama+Δ LA
Qo14 baru = Qo14 lama+Δ LA
Qo15 baru = Qo15 lama+Δ LA
Qo16 baru = Qo16 lama+Δ LB
Qo17 baru = Qo17 lama+Δ LB−Δ LD
Qo18 baru = Qo18 lama+Δ LB
Qo19 baru = Qo19 lama+Δ LB
Qo20 baru = Qo20 lama+Δ LB
Qo21 baru = Qo21 lama+Δ LB
Qo22 baru = Qo22 lama+Δ LB
Qo23 baru = Qo23 lama+Δ LB−Δ LC
Qo24 baru = Qo24 lama+Δ LB−Δ LC
Qo25 baru = Qo25 lama+Δ LB−Δ LC
Qo26 baru = Qo26 lama+Δ LB−Δ LC
Qo27 baru = Qo27 lama+Δ LB
Qo28 baru = Qo28 lama+Δ LC
Qo29 baru = Qo29 lama+Δ LC
Qo30 baru = Qo30 lama+Δ LC
Qo31 baru = Qo31 lama+Δ LC
Qo32 baru = Qo32 lama+Δ LC
Qo33 baru = Qo33 lama+Δ LC
Qo34 baru = Qo34 lama+Δ LD
Qo35 baru = Qo35 lama+Δ LD
Qo36 baru = Qo36 lama+Δ LD
Qo37 baru = Qo37 lama+Δ LD
Qo38 baru = Qo38 lama+Δ LD
Qo39 baru = Qo39 lama+Δ LD
Qo40 baru = Qo40 lama+Δ LE
Qo41 baru = Qo41 lama+Δ LE
Qo42 baru = Qo42 lama+Δ LE
Qo43 baru = Qo43 lama+Δ LF
Qo44 baru = Qo44 lama+Δ LF
Qo45 baru = Qo45 lama+Δ LF
Qo46 baru = Qo46 lama+Δ LF
Qo47 baru = Qo47 lama+Δ LE
Qo48 baru = Qo48 lama+Δ LE
Qo49 baru = Qo49 lama+Δ LE
Qo50 baru = Qo50 lama+Δ LE
Qo51 baru = Qo51 lama+Δ LF
Qo52 baru = Qo52 lama+Δ LF
Qo53 baru = Qo53 lama+Δ LF
Qo54 baru = Qo54 lama+Δ LF
Qo55 baru = Qo55lama+Δ LF

Qo56 baru = Qo56 lama+Δ LF
Qo57 baru = Qo57 lama+Δ LF
Qo58 baru = Qo58 lama+Δ LF
Qo59 baru = Qo59 lama+Δ LF
Qo60 baru = Qo60 lama+Δ LF
Qo61 baru = Qo61 lama+Δ LF
Qo62 baru = Qo62 lama+Δ LF
Qo63 baru = Qo63 lama+Δ LF
Qo64 baru = Qo64 lama+Δ LF
Qo65 baru = Qo65 lama+Δ LF
Qo66 baru = Qo66 lama+Δ LF
Qo67 baru = Qo67 lama+Δ LF

Karena hasil ∑ hf pada iterasi pertama tidak sama dengan nol mencapai batas toleransi (Δ L ≈ 10-6), maka iterasi dilanjutkan dan didapatkan hasil Δ L ≈ 10-6 pada iterasi ke-7 .

4. Kesimpulan

Kesimpulan

Bedasarkan hasil pengolahan dan analisis laju aliran fluida pada jaringan pipa distribusi air bersih dengan metode Hardy-Cross dapat disimpulkan:

1. Nilai debit aliran optimal pada setiap jaringan pipa yaitu sebesar:

Tabel 10. Nilai debit aliran optimal

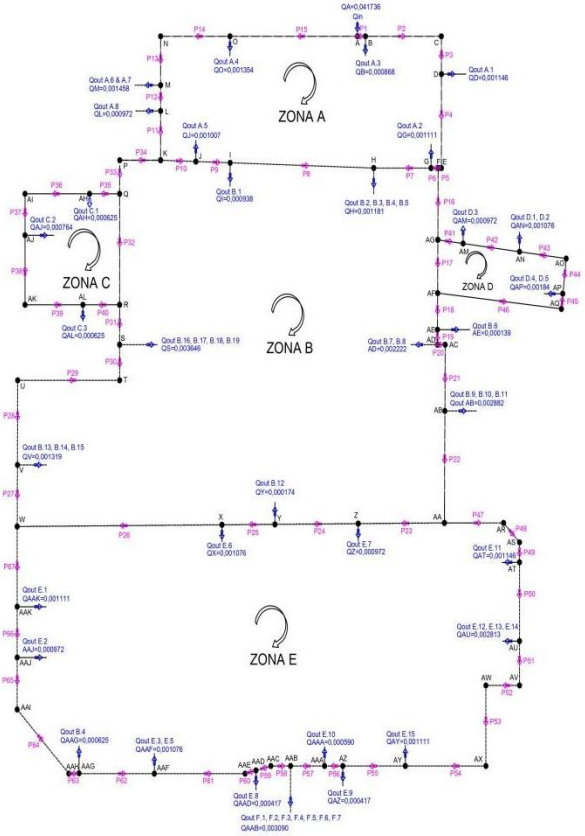
No Pipa	Debit Optimal (*Q*) (m3/s)	No Pipa	Debit Optimal (*Q*) (m3/s)
1	0,02372	35	0,00116
2	0,02285	36	0,00053
3	0,02285	37	0,00053
4	0,02170	38	0,00023
5	0,02170	39	0,00023
6	0,00188	40	0,00086
7	0,00077	41	0,00288
8	0,00041	42	0,00190
9	0,00135	43	0,00083
10	0,00236	44	0,00083
11	0,01423	45	0,00101
12	0,01521	46	0,00101
13	0,01666	47	0,00719
14	0,01666	48	0,00719
15	0,01802	49	0,00719
16	0,01983	50	0,00604
17	0,01695	51	0,00323
18	0,01594	52	0,00323
19	0,01580	53	0,00323
20	0,01358	54	0,00323
21	0,01358	55	0,00212
22	0,01069	56	0,00170
23	0,00351	57	0,00111
24	0,00254	58	0,00198
25	0,00236	59	0,00198
26	0,00129	60	0,00240
27	0,00490	61	0,00240
28	0,00622	62	0,00347
29	0,00622	63	0,00410
30	0,00622	64	0,00410
31	0,00986	65	0,00410
32	0,01072	66	0,00507
33	0,01187	67	0,00618
34	0,01187		

2. Nilai *headloss* mayor pada setiap jaringan pipa yaitu sebesar:

Tabel 11. Nilai *headloss* mayor

No Pipa	*Headloss* Mayor (m)	No Pipa	*Headloss* Mayor (m)
1	0,026328	35	0,322722
2	0,236828	36	0,164223
3	0,096156	37	0,086464
4	0,217915	38	0,031259
5	0,009066	39	0,031824
6	0,006363	40	0,226244
7	0,009853	41	0,204011
8	0,007788	42	0,212365
9	0,016666	43	0,037595
10	0,048150	44	0,023086
11	0,052390	45	0,014471
12	0,031026	46	0,144841
13	0,069534	47	0,634933
14	0,120791	48	0,241471
15	0,256418	49	0,174055
16	0,571494	50	0,502174
17	0,317814	51	0,088348
18	0,193742	52	0,081938
19	0,078151	53	0,160811
20	0,037517	54	0,197042
21	0,261516	55	0,069936
22	0,284524	56	0,013607
23	0,245702	57	0,011502
24	0,130270	58	0,019466
25	0,072512	59	0,015166
26	0,090963	60	0,015625
27	0,266906	61	0,128222
28	0,568832	62	0,211064
29	0,839168	63	0,038649
30	0,239360	64	0,280097
31	0,087151	65	0,161544
32	0,283986	66	0,234320
33	0,025487	67	0,533039
34	0,032814		

3. Arah aliran air optimal pada setiap pipa adalah:



Gambar 9. Arah aliran air optimal

Daftar Pustaka

Bambang triatmodjo. 1965. "pelabuhan." *The british journal of psychiatry* 111(479).

Kayana, i. Made dwi, i. Nyoman pasek nugraha, and kadek rihendra dantes. 2018. "analisis pengaruh laju aliran fluida air pada saluran pipa air handling unit (ahu) terhadap capaian suhu optimum mesin pendingin mini water chiler." *Jurnal pendidikan teknik mesin undiksha* 6(3). Doi: 10.23887/jjtm.v6i3.18588.

Kayana, made dwi, i. Nyoman pasek nugraha, and kadek rihendra dantes. 2019. "analisa pengaruh laju aliran fluida air pada saluran pipa ahu (air handling unit) terhadap capaian suhu optimum mesin pendingin mini water chiler." *Jurnal pendidikan teknik mesin undiksha* 7(3). Doi: 10.23887/jptm.v7i3.26517.

Nasional, badan standardisasi. 2011. "sni 7509:2011 tata cara perencanaan teknik jaringan distribusi dan unit pelayanan sistem penyediaan air minum." *Standar nasional indonesia*.

Nurcholis, lutfi. 2008. "perhitungan laju aliran fluida pada jaringan pipa." *Issn : 1693 - 3451 vol. 7 juni 2008* 7(1).

Shidiq, arif rachman, rony riduan, and chairul abdi. 2020. "perencanaan sistem jaringan pipa distribusi air bersih dan evaluasi reservoir di kecamatan bumi makmur dan kecamatan kurau." *Jernih: jurnal tugas akhir mahasiswa* 2(2). Doi: 10.20527/jernih.v2i2.587.

Staponkus, vladislovas. 2011. *Hidraulika*.

Swamee, prabhata k., and ashok k. Sharma. 2008. *Design of water supply pipe networks*.

Triatmodjo, bambang. 2008. *Hidrologi terapan*. Vol. 59