

BAB IV
PERANCANGAN SISTEM PERPIPAAN AIR
UNTUK PENYIRAMAN TANAMAN KEBUN VERTIKAL

4.1 Kondisi perancangan

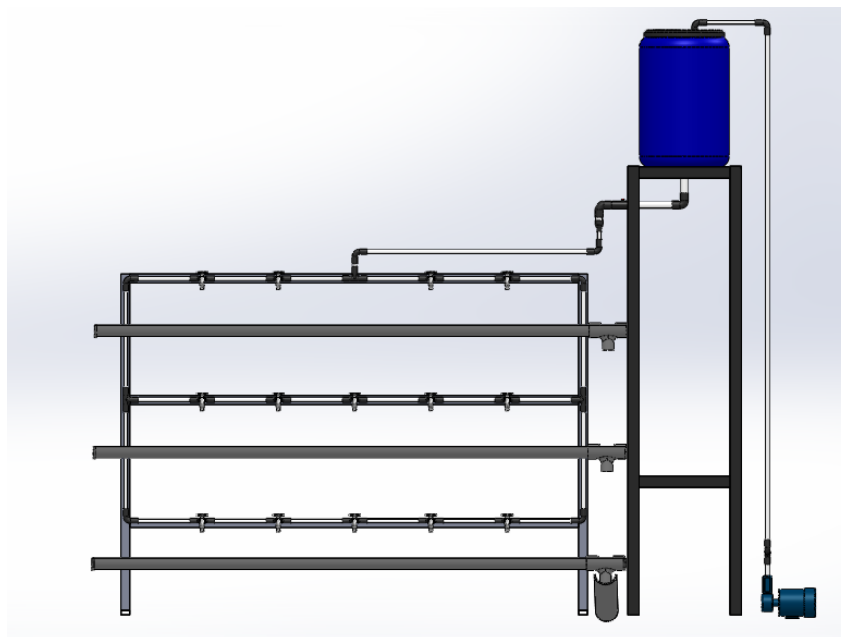
Tahap awal perancangan sistem perpipaan air untuk penyiraman kebun vertikal yaitu menentukan kondisi perancangan. Kondisi perancangan meliputi jumlah keluaran air, kebutuhan air, dan dimensi utama sistem perpipaan. Besaran masing-masing parameter kondisi perancangan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Besaran parameter kondisi perancangan

No	Parameter	Dimensi
1	Tinggi Sistem Perpipaan	1500 mm
2	Panjang Sistem Perpipaan	1800 mm
3	Jumlah Keluaran	14 Titik
4	Jarak Antar Keluaran	300 mm
5	Jarak Antar Tanaman	300 mm

4.2 Skematis perancangan

Suatu instalasi untuk mendistribusikan air dengan rancangan skala laboratorium yang akan mendistribusikan untuk 14. Dengan asumsi permukaan yang rata dan rencana awal perancangan dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4. 1. Skematis Perancangan

Dengan kondisi perancangan yang akan digunakan yaitu pompa dengan debit 29 lt/min, dan untuk setiap keluaran diasumsikan sama dengan debit 0,50 lt/min yang disimulasikan untuk 14 keluaran.

4.3 Perhitungan

Dari data di atas, maka akan mendapatkan angka untuk melakukan perhitungan, dan dengan menggunakan perangkat lunak *pipe flow expert* maka didapat hasil perhitungan.

4.3.1 Debit Air

Tabel 4.2 Debit air

Titik Keluaran	Debit Air (lt/min)	Titik Keluaran	Debit Air (lt/min)
1	0.50	8	0.50
2	0.50	9	0.50
3	0.50	10	0.50
4	0.50	11	0.50
5	0.50	12	0.50
6	0.50	13	0.50
7	0.50	14	0.50

Evaluasi debit

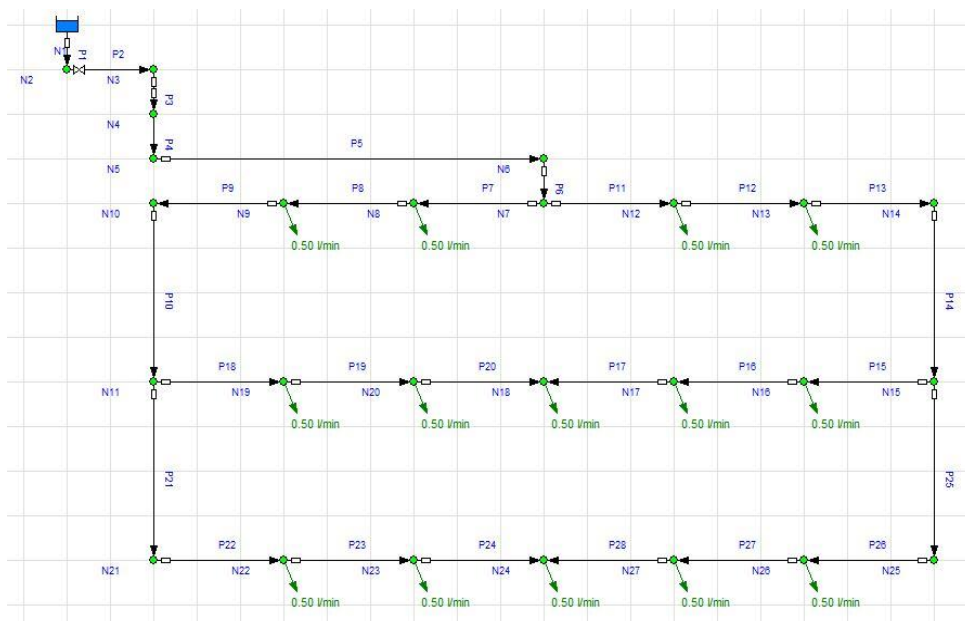
Titik Keluaran	Debit Air (lt/min)	
	Kondisi Perancangan	Hasil Perancangan
1	0.50	0.50
2	0.50	0.50
3	0.50	0.50
4	0.50	0.50
5	0.50	0.50

6	0.50	0.50
7	0.50	0.50
8	0.50	0.50
9	0.50	0.50
10	0.50	0.50
11	0.50	0.50
12	0.50	0.50
13	0.50	0.50
14	0.50	0.50

Analisa dari hasil perhitungan dengan kondisi perancangan yaitu hasilnya sama dikarenakan perhitungan yang dilakukan melalui perangkat lunak untuk kondisi perancangan akan menghasilkan dari hasil perancangan tersebut.

4.4 Skematis perancangan menggunakan perangkat lunak

Skematis perancangan sistem perpipaan air untuk penyiraman tanaman kebun vertikal yaitu dengan menggunakan perangkat lunak *pipe flow expert* yang menghasilkan berupa gambar sistem jaringan perpipaan seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 2. Jaringan pipa

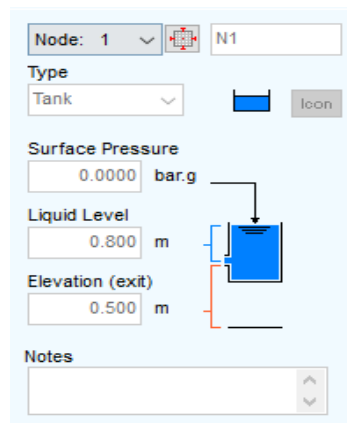
Dari hasil perancangan dengan menggunakan perangkat lunak, nantinya skematis jaringan pipa tersebut akan digunakan untuk referensi pembuatan sistem perpipaan dengan skala laboratorium.

4.5 Input Data

Input data pada perancangan sistem perpipaan dalam tugas akhir ini yaitu :

4.5.1 Reservoir

Ketinggian pipa diasumsikan rata dengan tanah.



Gambar 4. 3. Reservoir

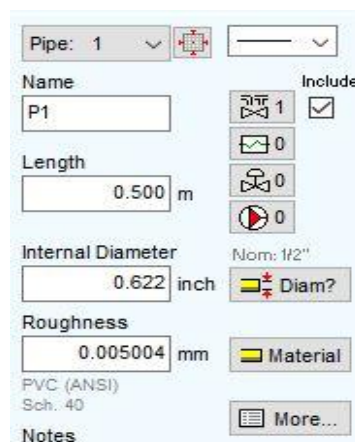
4.5.2 Kebutuhan pipa

Pipa yang digunakan dalam perancangan sistem perpipaan air ini adalah pipa PVC dengan *schedule* 40. Adapun panjang dan diameter pipa yang digunakan pada tiap bagian, ditunjukkan pada Tabel 4.3 di bawah ini:

Tabel 4.3 Panjang, diameter pipa, dan material pipa

No. pipa	Panjang Pipa (m)	Diameter Dalam pipa (inch)	Material pipa
1	0.1	1	Schedule 40
2	0.15	1	Schedule 40
3	0.1	1	Schedule 40
4	0.1	1/2	Schedule 40
5	1	1/2	Schedule 40
6	0.1	1/2	Schedule 40

7	0.3	1/2	Schedule 40
8	0.3	1/2	Schedule 40
9	0.3	1/2	Schedule 40
10	0.3	1/2	Schedule 40
11	0.3	1/2	Schedule 40
12	0.3	1/2	Schedule 40
13	0.5	1/2	Schedule 40
14	0.5	1/2	Schedule 40
15	0.3	1/2	Schedule 40
16	0.3	1/2	Schedule 40
17	0.3	1/2	Schedule 40
18	0.3	1/2	Schedule 40
19	0.3	1/2	Schedule 40
20	0.3	1/2	Schedule 40
21	0.5	1/2	Schedule 40
22	0.5	1/2	Schedule 40
23	0.3	1/2	Schedule 40
24	0.3	1/2	Schedule 40
25	0.3	1/2	Schedule 40
26	0.3	1/2	Schedule 40
27	0.3	1/2	Schedule 40
28	0.3	1/2	Schedule 40



Gambar 4. 4. Penentuan panjang dan kekasaran pipa

4.5.3 Diameter pipa

Pemilihan diameter pipa untuk menentukan hasil perhitungan kecepatan aliran (*velocity*), untuk diameter pipa yang digunakan yaitu 1” dan ½”.

Tabel 4.4 Penentuan diameter pipa

Nominal Size	Internal Diam. inch	Wall Thick. inch	Outside Diam. inch	Weight lbs/ft	Internal Vol ft³/100 ft	Surface Area ft²/100 ft
1/2"	0.622	0.109	0.840	0.163	0.2110	21.9911
1"	1.049	0.133	1.315	0.322	0.6002	34.4266
1-1/4"	1.380	0.140	1.660	0.435	1.0387	43.4587
1-1/2"	1.610	0.145	1.900	0.520	1.4138	49.7419
2"	2.067	0.154	2.375	0.700	2.3303	62.1774
2-1/2"	2.469	0.203	2.875	1.109	3.3248	75.2673
3"	3.068	0.216	3.500	1.451	5.1338	91.6298
4"	4.026	0.237	4.500	2.066	8.8405	117.8097
6"	6.065	0.280	6.625	3.634	20.0627	173.4421
8"	7.981	0.322	8.625	5.468	34.7410	225.8020
10"	10.020	0.365	10.750	7.752	54.7599	281.4343
12"	11.938	0.406	12.750	10.250	77.7303	333.7942
14"	13.126	0.437	14.000	12.122	93.9706	366.5191
16"	15.000	0.500	16.000	15.850	122.7185	418.8790
18"	16.876	0.562	18.000	20.043	155.3340	471.2389
20"	18.814	0.593	20.000	23.537	193.0588	523.5988
24"	22.626	0.687	24.000	32.756	279.2177	628.3185

4.5.4 Material pipa

Material yg digunakan adalah pipa PVC ($e = 0.005$ mm) *schedule 40* yang berdiameter ½”. Merupakan material pipa yang umum digunakan untuk air. Perhitungan *head loss* merupakan penjumlahan antara *head loss mayor* dengan *head loss minor*.

Tabel 4.5 Penentuan material pipa

Material	Schedule / Class	Internal Roughness (inch)	Pipe Size Range
HDPE	SDR 17	0.000060 (inch)	2" - 42"
HDPE	SDR 21	0.000060 (inch)	3" - 54"
HDPE	SDR 26	0.000060 (inch)	6" - 54"
HDPE	SDR 32.5	0.000060 (inch)	4" - 12"
PVC (ANSI) Chlorinated	Sch. 40	0.000197 (inch)	3/8" - 24"
PVC (ANSI) Chlorinated	Sch. 80	0.000197 (inch)	1/2" - 12"
PVC (ANSI)	Sch. 40	0.000197 (inch)	3/8" - 24"
PVC (ANSI)	Sch. 80	0.000197 (inch)	1/2" - 12"
PVC (AWWA)	DR 14 (305 psi)	0.000197 (inch)	4" - 12"
PVC (AWWA)	DR 21 (200 psi)	0.000197 (inch)	14" - 36"
PVC (AWWA)	DR 25 (165 psi)	0.000197 (inch)	4" - 48"
PVC (AWWA)	DR 32.5 (125 psi)	0.000197 (inch)	14" - 48"
PVC (AWWA)	DR 41 (100 psi)	0.000197 (inch)	14" - 48"
PVC (AWWA)	DR 51 (80 psi)	0.000197 (inch)	30" - 48"
PVC (Iron pipe size)	SDR 13.5 (315 psi)	0.000197 (inch)	1/2" - 4"
PVC (Iron pipe size)	SDR 17 (250 psi)	0.000197 (inch)	1-1/2" - 12"
PVC (Iron pipe size)	SDR 21 (200 psi)	0.000197 (inch)	3/4" - 12"

4.5.5 Debit hasil keluaran

Setelah hasil perancangan jaringan perpipaan dengan menggunakan perangkat lunak selesai, di dapat *flow* (debit) pada tiap-tiap pipa.

Tabel 4.6 Debit hasil keluaran

Pipe Id ↓	Pipe Name ↓ and Notes	Fluid Zone ↓	Material ↓	Inner Diameter ↓ mm	Length ↓ m	Mass Flow ↓ kg/sec	Vol Flow ↓ m ³ /sec	Velocity ↓ m/sec
1	P1	Water (20°C at 0.	25 mm PVC (ANS	26.645	0.500	0.1248	0.0001	0.224
2	P2	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.500	0.1248	0.0001	0.638
3	P3	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0556	0.0001	0.284
4	P4	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0473	0.0000	0.242
5	P5	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0389	0.0000	0.199
6	P6	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0306	0.0000	0.157
7	P7	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0223	0.0000	0.114
8	P8	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0140	0.0000	0.071
9	P9	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.500	0.0140	0.0000	0.071
10	P10	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.500	0.0692	0.0001	0.354
11	P11	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0360	0.0000	0.184
12	P12	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0276	0.0000	0.141
13	P13	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0193	0.0000	0.099
14	P14	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0110	0.0000	0.056
15	P15	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0027	0.0000	0.014
16	P16	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0056	0.0000	0.029
17	P17	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.500	0.0084	0.0000	0.043
18	P18	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.500	0.0332	0.0000	0.170
19	P19	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0332	0.0000	0.170
20	P20	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0249	0.0000	0.127
21	P21	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0166	0.0000	0.085
22	P22	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0083	0.0000	0.042
23	P23	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0000	0.0000	0.000
24	P24	Water (20°C at 0.	15 mm PVC (ANS	15.799	0.300	0.0084	0.0000	0.043

4.5.6 Bilangan *Reynolds*

Bilangan *Reynolds* pada setiap pipa dapat diperoleh dari hasil perhitungan dengan menggunakan perangkat lunak.

Tabel 4.7 Bilangan *Reynolds*

No. Pipa	Bilangan Reynold	No. Pipa	Bilangan Reynold
P1	5553	P9	3345
P2	5553	P10	3345
P3	5553	P11	4682
P4	9365	P12	4013
P5	9365	P13	3345
P6	9365	P14	3345
P7	4682	P15	1672
P8	4013	P16	1003

P17	334
P18	1672
P19	1003
P20	334
P21	1672
P22	1672

P23	1003
P24	334
P25	1672
P26	1672
P27	1003
P28	334

4.5.7 Jenis Fluida

Jenis fluida dalam perancangan distribusi air ini yaitu 20° C, sesuai dengan temperatur lingkungan di daerah yang akan dirancang sistem perpipaan.

Tabel 4.8 Jenis fluida

The screenshot shows a software window titled "Fluid data". It has a yellow header area with "Fluid properties:" and a table with columns: Name, Formula, Temperature °C, Pressure bar g, Density kg/m³, Viscosity Centipoise, Vapour Press. kPa (abs), and State. The "Water" row is selected, showing values: H2O, 20.0, 0.000, 998.000, 1.0020, 2.400, and Gas. To the right are "Save" and "Cancel" buttons. Below this is a "Fluid Properties Database:" section with a unit conversion "1 mPa . s = 1 Centipoise". It contains a larger table with the same columns as above, listing various fluids like Acetic acid, Acetone, Aniline, Benzene, Bromine, Carbon disulphide, Carbon tetrachloride, Chloroform, Corn oil, Ether, diethyl, Ethyl alcohol, Gasoline (typical), Glycerol, Linseed oil, Mercury, Methyl alcohol, and Nitrobenzene. On the right side of the database table are controls for "Use selected fluid", unit selection (Metric/Imperial), and radio buttons for "All Fluids", "Liquids", and "Gases".

4.5.8 Kecepatan Aliran (Velocity)

Kecepatan aliran maksimum yang diijinkan adalah 3 m/s yaitu sesuai dengan standar perpipaan, dari hasil perancangan perpipaan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.9 Kecepatan Aliran (*Velocity*)

No. Pipa	Velocity (m/s)	No. Pipa	Velocity (m/s)
P1	0.209	P15	0.106
P2	0.209	P16	0.064
P3	0.209	P17	0.021
P4	0.595	P18	0.106
P5	0.595	P19	0.064
P6	0.595	P20	0.021
P7	0.298	P21	0.106
P8	0.255	P22	0.106
P9	0.213	P23	0.064
P10	0.213	P24	0.021
P11	0.298	P25	0.106
P12	0.255	P26	0.106
P13	0.213	P27	0.064
P14	0.213	P28	0.021

Dari perhitungan perangkat lunak ini data yang diperlukan adalah:

1. Gambar skematis
2. Satuan yang dipakai
3. Jenis pipa
4. Ukuran pipa (panjang dan diameter)
5. Debit keluaran

Hasil yang didapat dari perhitungan:

1. Debit
2. Faktor gesekan
3. Jenis aliran
4. Kecepatan
5. Bilangan Reynolds

4.6 Perhitungan *Head loss*

4.6.1 Menghitung bilangan *Reynolds* (Re)

$$Re = \frac{4 \rho Q}{\mu \pi d}$$

1. Pada pipa 1

$$\begin{aligned} Re_1 &= \frac{4 \times 998 \times 0.0000417}{0.001 \times \pi \times 0.0127} \\ &= 4168.941 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada pipa 1, maka didapat bilangan *Reynolds* pada setiap pipa yang ditunjukkan pada tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Bilangan *Reynolds* pada tiap pipa

Keluaran	Diameter (m)	Q (m ³ /s)	Re
1	0.0127	0.0000417	4168.941
2	0.0127	0.0000500	5002.729
3	0.0127	0.0000583	5836.517
4	0.0127	0.0000583	5836.517
5	0.0127	0.0000500	5002.729
6	0.0127	0.0000417	4168.941
7	0.0127	0.0000208	2084.470
8	0.0127	0.0000125	1250.682
9	0.0127	0.0000042	416.894
10	0.0127	0.0000042	416.894
11	0.0127	0.0000125	1250.682
12	0.0127	0.0000208	2084.470
13	0.0127	0.0000208	2084.470
14	0.0127	0.0000125	1250.682
15	0.0127	0.0000042	416.894
16	0.0127	0.0000042	416.894
17	0.0127	0.0000125	1250.682
18	0.0127	0.0000208	2084.470

4.6.2 Menghitung koefisien gesek permukaan pipa (f)

Ketentuan untuk koefisien gesek permukaan pipa yaitu, jika nilai bilangan $Re > 4000$ maka untuk menentukan nilai $f = func(Re, e/D)$ dan e/D diasumsikan menggunakan pipa *smooth* sehingga pada diagram Moody dengan menarik garis dari nilai Re terhadap garis kurva *smooth pipe*, sedangkan jika bilangan $Re < 2300$ maka untuk menentukan nilai f menggunakan persamaan dibawah ini.

$$f = \frac{64}{Re}$$

1. Pada pipa 1

$$f_1 = 0.039 \text{ (didapat dari diagram Moody)}$$

2. Pada pipa 2

$$f_2 = 0.037 \text{ (didapat dari diagram Moody)}$$

3. Pada pipa 3

$$f_3 = 0.035 \text{ (didapat dari diagram Moody)}$$

4. Pada pipa 4

$$f_4 = 0.035 \text{ (didapat dari diagram Moody)}$$

5. Pada pipa 5

$$f_5 = 0.037 \text{ (didapat dari diagram Moody)}$$

6. Pada pipa 6

$$f_6 = 0.039 \text{ (didapat dari diagram Moody)}$$

7. Pada pipa 7

$$\begin{aligned} f_7 &= \frac{64}{2084.47} \\ &= 0.0307032 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama dengan pipa 7 diatas, maka didapat koefisien gesek permukaan untuk pipa 8 sampai dengan pipa 18 yang ditunjukkan pada tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 4.11 Koefisien gesek permukaan pada tiap pipa.

Keluaran	Re	f	Keluaran	Re	f
1	4168.941	0.039	10	416.894	0.153
2	5002.729	0.037	11	1250.682	0.051
3	5836.517	0.035	12	2084.470	0.031
4	5836.517	0.035	13	2084.470	0.031
5	5002.729	0.037	14	1250.682	0.051
6	4168.941	0.039	15	416.894	0.153
7	2084.470	0.031	16	416.894	0.153
8	1250.682	0.051	17	1250.682	0.051
9	416.894	0.153	18	2084.470	0.031

4.6.3 Menghitung *head loss mayor* (h_f)

$$H_f = \frac{f \cdot l}{2 \cdot x \cdot g} \times \frac{16 \cdot x \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot x \cdot D^5}$$

1. Pada pipa 1

$$h_{f1} = \frac{0.039 \times 0.8}{2 \times 9.81} \times \frac{16 \times 0.0000417^2}{\pi^2 \times 0.0127^5}$$

$$= 0.0135467 \text{ m}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada pipa 1, maka didapat *headloss mayor* pada tiap pipa yang ditunjukkan pada tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.12 *Headloss mayor* pada tiap pipa

Keluaran	Diameter (m)	Q (m ³ /s)	Panjang (m)	f	h_f (m)
1	0.0127	0.0000417	0.8	0.039	0.0135467
2	0.0127	0.0000500	0.3	0.037	0.0069401
3	0.0127	0.0000583	0.3	0.035	0.0089356
4	0.0127	0.0000583	0.3	0.035	0.0089356
5	0.0127	0.0000500	0.3	0.037	0.0069401
6	0.0127	0.0000417	0.8	0.039	0.0135467
7	0.0127	0.0000208	0.3	0.031	0.0009998

8	0.0127	0.0000125	0.3	0.051	0.0005999
9	0.0127	0.0000042	0.3	0.153	0.0002000
10	0.0127	0.0000042	0.3	0.153	0.0002000
11	0.0127	0.0000125	0.3	0.051	0.0005999
12	0.0127	0.0000208	0.3	0.031	0.0009998
13	0.0127	0.0000208	0.8	0.031	0.0026662
14	0.0127	0.0000125	0.3	0.051	0.0005999
15	0.0127	0.0000042	0.3	0.153	0.0002000
16	0.0127	0.0000042	0.3	0.153	0.0002000
17	0.0127	0.0000125	0.3	0.051	0.0005999
18	0.0127	0.0000208	0.8	0.031	0.0026662

4.6.4 Menghitung *head loss minor* (h_m)

$$h_m = \frac{kx8xQ^2}{gx\pi^2xd^4}$$

1. Pada pipa 1

$$\begin{aligned} h_{m1} &= \left(\left(\frac{0.54 \times 8 \times 0.0000417^2}{9.81 \times \pi^2 \times 0.0127^4} \right) \times 2 \right) + \left(\frac{0.81 \times 8 \times 0.0000417^2}{9.81 \times \pi^2 \times 0.0127^4} \right) \\ &= 0.0104219 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Pada pipa 2

$$\begin{aligned} h_{m2} &= \left(\frac{0.54 \times 8 \times 0.00005^2}{9.81 \times \pi^2 \times 0.0127^4} \right) \times 2 \\ &= 0.0085757 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada pipa 1 maka didapat *headloss minor* pada pipa 6,13,dan 18, sedangkan pada pipa lainnya menggunakan perhitungan yang sama pada piap 2 sehingga didapatkan nilai *headloss minor* pada tiap pipa yang ditunjukkan pada tabel 4.13 dibawah ini.

Tabel 4.13 *Headloss minor* pada tiap pipa

Keluaran	Diameter (m)	Q (m ³ /s)	h _m (m)
1	0.0127	0.0000417	0.0104219
2	0.0127	0.0000500	0.0085757
3	0.0127	0.0000583	0.0116725
4	0.0127	0.0000583	0.0116725
5	0.0127	0.0000500	0.0085757
6	0.0127	0.0000417	0.0104219
7	0.0127	0.0000208	0.0014888
8	0.0127	0.0000125	0.0005360
9	0.0127	0.0000042	0.0000596
10	0.0127	0.0000042	0.0000596
11	0.0127	0.0000125	0.0005360
12	0.0127	0.0000208	0.0014888
13	0.0127	0.0000208	0.0026055
14	0.0127	0.0000125	0.0005360
15	0.0127	0.0000042	0.0000596
16	0.0127	0.0000042	0.0000596
17	0.0127	0.0000125	0.0005360
18	0.0127	0.0000208	0.0026055

4.6.5 Menghitung *head loss total* (h_t)

$$h_t = h_f + h_m \text{ (m)}$$

1. Pada pipa 1

$$h_{t_1} = 0,0135467 + 0,0104219$$

$$h_{t_1} = 0,0239686 \text{ m}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama dengan pipa 1, maka didapat *headloss total* pada tiap pipa yang ditunjukkan pada tabel 4.14 berikut ini.

Tabel 4.14 *Headloss total* pada tiap pipa

Keluaran	h_f (m)	h_m (m)	h_t (m)
1	0.0135467	0.0104219	0.0239686
2	0.0069401	0.0085757	0.0155158
3	0.0089356	0.0116725	0.0206081
4	0.0089356	0.0116725	0.0206081
5	0.0069401	0.0085757	0.0155158
6	0.0135467	0.0104219	0.0239686
7	0.0009998	0.0014888	0.0024887
8	0.0005999	0.0005360	0.0011359
9	0.0002000	0.0000596	0.0002595
10	0.0002000	0.0000596	0.0002595
11	0.0005999	0.0005360	0.0011359
12	0.0009998	0.0014888	0.0024887
13	0.0026662	0.0026055	0.0052717
14	0.0005999	0.0005360	0.0011359
15	0.0002000	0.0000596	0.0002595
16	0.0002000	0.0000596	0.0002595
17	0.0005999	0.0005360	0.0011359
18	0.0026662	0.0026055	0.0052717

4.6.6 Menghitung *head loss total per debit* (h_t/Q)

$$h_t/Q = \frac{h_t}{Q} \text{ (s/m}^2\text{)}$$

1. Pada pipa 1

$$\frac{h_{t_1}}{Q_1} = \frac{0,0239686}{0,0000417}$$

$$\frac{h_{t_1}}{Q_1} = 575,2466096 \text{ s/m}^2$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama dengan pipa 1, maka didapat *headloss total* per debit pada tiap pipa yang ditunjukkan pada tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.15 *Headloss total* per debit pada tiap pipa

Keluaran	h_t (m)	Q (m ³ /s)	h_t/Q (s/m ²)
1	0.0239686	0.0000417	575.2466096
2	0.0155158	0.0000500	310.3161755
3	0.0206081	0.0000583	353.2822610
4	0.0206081	0.0000583	353.2822610
5	0.0155158	0.0000500	310.3161755
6	0.0239686	0.0000417	575.2466096
7	0.0024887	0.0000208	119.4560414
8	0.0011359	0.0000125	90.8703395
9	0.0002595	0.0000042	62.2846377
10	0.0002595	0.0000042	62.2846377
11	0.0011359	0.0000125	90.8703395
12	0.0024887	0.0000208	119.4560414
13	0.0052717	0.0000208	253.0405436
14	0.0011359	0.0000125	90.8703395
15	0.0002595	0.0000042	62.2846377
16	0.0002595	0.0000042	62.2846377
17	0.0011359	0.0000125	90.8703395
18	0.0052717	0.0000208	253.0405436

4.6.7 Menghitung jumlah *head loss* tiap *loop* (Σh_t)

Arah aliran yang searah jarum jam bernilai positif (+) dan yang berlawanan arah jarum jam bernilai negative (-).

1. *Loop 1*

$$\Sigma h_t = h_{t_4} + h_{t_5} + h_{t_6} + h_{t_{10}} + h_{t_{11}} + h_{t_{12}} - h_{t_1} - h_{t_2} - h_{t_3} - h_{t_7} - h_{t_8} - h_{t_9}$$

$$\Sigma h_t = 0,0206081 + 0,0155158 + 0,0239686 + 0,0002595 + 0,0011359 + 0,0024887 - 0,0239686 - 0,0155158 - 0,0206081 - 0,0002595 - 0,0011359 - 0,0024887$$

$$\Sigma h_t = 0 \text{ m}$$

2. *Loop 2*

$$\Sigma h_t = h_{t_7} + h_{t_8} + h_{t_9} + h_{t_{16}} + h_{t_{17}} + h_{t_{18}} - h_{t_{10}} - h_{t_{11}} - h_{t_{12}} - h_{t_{13}} - h_{t_{14}} - h_{t_{15}}$$

$$\Sigma h_t = 0,0024887 + 0,0011359 + 0,0002595 + 0,0002595 + 0,0011359 + 0,0052717 - 0,0002595 - 0,0011359 - 0,0024887 - 0,0052717 - 0,0011359 - 0,0002595$$

$$\Sigma h_t = 0 \text{ m}$$

4.6.8 Menghitung jumlah *head loss* per debit tiap *loop* ($\Sigma h_t/Q$)

arah aliran yang searah jarum jam bernilai positif (+) dan yang berlawanan arah jarum jam bernilai negative (-).

1. Loop 1

$$\Sigma h_t/Q = \frac{h_{t_4}}{Q_4} + \frac{h_{t_5}}{Q_5} + \frac{h_{t_6}}{Q_6} + \frac{h_{t_{10}}}{Q_{10}} + \frac{h_{t_{11}}}{Q_{11}} + \frac{h_{t_{12}}}{Q_{12}} - \frac{h_{t_1}}{Q_1} - \frac{h_{t_2}}{Q_2} - \frac{h_{t_3}}{Q_3} - \frac{h_{t_7}}{Q_7} - \frac{h_{t_8}}{Q_8} - \frac{h_{t_9}}{Q_9}$$

$$\Sigma h_t/Q = 353,2822610 + 310,3161755 + 575,2466096 + 62,2846377 + 90,8703395 + 119,4560414 - 575,2466096 - 310,3161755 - 353,2822610 - 119,4560414 - 90,8703395 - 62,2846377$$

$$\Sigma h_t/Q = 0 \text{ s/m}^2$$

2. Loop 2

$$\Sigma h_t/Q = \frac{h_{t_7}}{Q_7} + \frac{h_{t_8}}{Q_8} + \frac{h_{t_9}}{Q_9} + \frac{h_{t_{16}}}{Q_{16}} + \frac{h_{t_{17}}}{Q_{17}} + \frac{h_{t_{18}}}{Q_{18}} - \frac{h_{t_{10}}}{Q_{10}} - \frac{h_{t_{11}}}{Q_{11}} - \frac{h_{t_{12}}}{Q_{12}} - \frac{h_{t_{13}}}{Q_{13}} - \frac{h_{t_{14}}}{Q_{14}} - \frac{h_{t_{15}}}{Q_{15}}$$

$$\Sigma h_t/Q = 119,4560414 + 90,8703395 + 62,2846377 + 62,2846377 + 90,8703395 + 253,0405436 - 62,2846377 - 90,8703395 - 119,4560414 - 253,0405436 - 90,8703395 - 62,2846377$$

$$\Sigma h_t/Q = 0 \text{ s/m}^2$$

4.6.9 Menghitung koreksi aliran debit untuk tiap *loop* (ΔQ)

$$\Delta Q = \frac{\Sigma h_t}{1,85 \times \Sigma h_t/Q} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

1. Loop 1

$$\Delta Q = \frac{0}{1,85 \times 0}$$

$$\Delta Q = 0$$

2. *Loop 2*

$$\Delta Q = \frac{0}{1,85 \times 0}$$

$$\Delta Q = 0$$