

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian

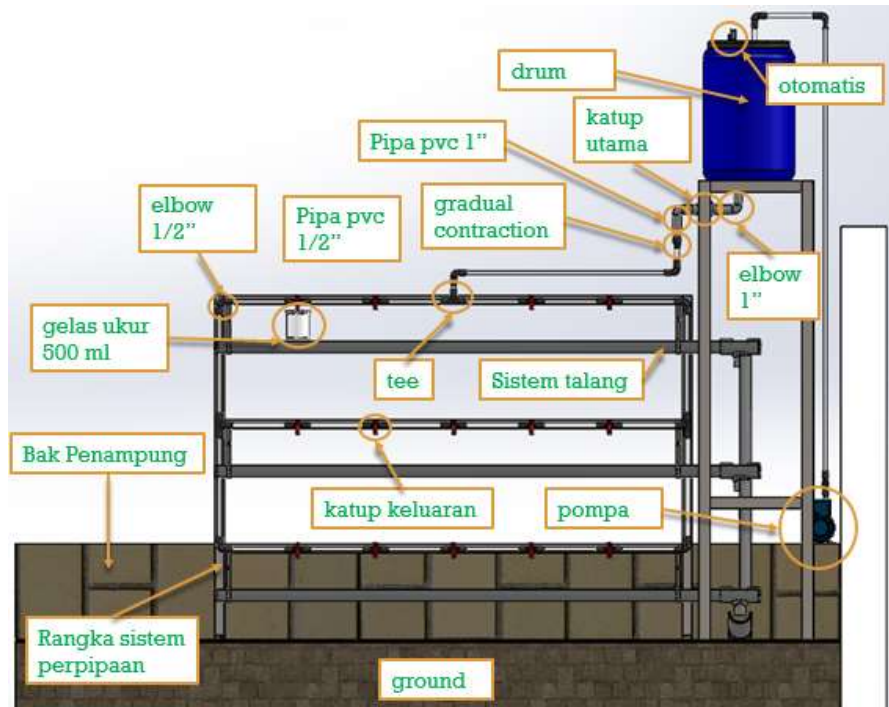
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performansi dari sistem perpipaan air untuk penyiraman kebun vertikal yang telah dibuat meliputi pengujian debit airnya. Target dari pengujian ini yaitu memastikan hasil pembuatan sesuai atau tidak dengan hasil perancangan yaitu debit air yang keluar pada tiap keluaran sebesar 0,500 l/menit. Keluaran yang akan diukur debit airnya berjumlah 14 buah dan akan diukur sebanyak 5 kali dengan menggunakan gelas ukur 500 ml dan *stopwatch*.

Pengujian dilakukan satu persatu pada keluaran air tidak sekaligus 14 karena lebih memudahkan dalam proses pengujiannya. Pada saat pengujian di keluaran satu misalnya, maka gelas ukur akan ditempatkan tepat di bawah keluaran yang akan diukur debitnya sedangkan keluaran air lainnya akan tumpah langsung ke talang air dan dialirkan kembali ke bak penampung.

4.1.1 Persiapan Peralatan Pengujian

Sebelum melakukan pengujian pada sistem perpipaan terlebih dahulu menyiapkan beberapa peralatan pengujian yang meliputi:

1. Menyiapkan gelas ukur 500 ml yang nantinya diarahkan pada keluaran air yang akan diukur terlebih dahulu.
2. Menyiapkan *stopwatch* untuk menghitung waktu keluaran air ke gelas ukur hingga menunjukkan volume 500 ml.



Gambar 4.1 Instalasi pengujian performansi sistem perpipaan air untuk penyiraman kebun vertikal skala laboratorium.

4.1.2 Prosedur Pengujian

Agar proses pengujian berjalan dengan baik, maka dibuat prosedur yang harus dilakukan pada saat akan memulai proses pengujian yang meliputi:

1. Sebelum pompa dihidupkan, katup utama dalam keadaan terbuka dan semua katup keluaran dalam keadaan tertutup.
2. Menghidupkan pompa air; karena pada pompa dipasang alat kontrol otomatis, yaitu dengan cara mengeluarkan air di dalam tangki melalui beberapa katup keluaran. Pompa akan hidup apabila permukaan air di dalam tangki mencapai permukaan terendah dan akan mati apabila permukaan air mencapai permukaan tertinggi.
3. Membuka semua katup keluaran secara penuh.
4. Menempatkan gelas ukur 500 ml di bawah katup keluaran air yang akan diukur dan mencatat waktu pengisian gelas ukur hingga

volume 500 ml. Pengukuran debit air pada satu katup keluaran dilakukan sebanyak 5 (lima) kali.

5. Langkah pengujian ke-4 di atas dilakukan pada semua katup keluaran.

Semua data hasil pengujian ditampilkan pada tabel dan selanjutnya digunakan untuk analisis serta evaluasi performansi sistem perpipaan.

4.2 Data Hasil Pengujian

Semua data hasil pengujian ditampilkan dalam tabel yang selanjutnya digunakan untuk analisis dan evaluasi performansi sistem perpipaan. Pengujian dilaksanakan pada:

Hari/Tanggal : Sabtu, 17 September 2016

Waktu : 16.00 WIB

Tempat : Di Laboratorium Uji Prestasi Mesin Prodi Teknik Mesin
FT UNPAS

Tabel 4.1 Waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan debit air 500 ml tiap keluaran.

Keluaran	Waktu (s)					Waktu rata-rata (s)
	1	2	3	4	5	
1	57,6	58,2	57,9	57,5	58,3	57,9
2	58,5	58,9	59,2	58,2	58,6	58,7
3	62,2	61,8	62,5	61,7	62,3	62,1
4	58,8	58,3	58,6	59,2	58,8	58,7
5	60,2	60,9	61,3	60,7	60,5	60,7
6	58,6	58,2	59,1	59,3	58,5	58,7
7	59,3	59,7	58,9	59,4	59,6	59,4
8	58,6	58,1	58,4	59,0	58,7	58,6
9	62,5	61,9	61,8	62,3	62,0	62,1
10	58,7	58,4	59,1	58,9	58,3	58,7
11	59,8	59,5	59,2	60,3	60,5	59,9
12	57,3	58,0	57,8	57,1	58,1	57,7

13	58,5	58,2	58,9	59,2	58,6	58,7
14	62,7	61,8	62,2	62,5	61,9	62,2

4.3 Analisis Data Pengujian

Dari hasil perancangan debit aliran pada seluruh titik keluaran sebesar 0,500 l/menit, sedangkan hasil dari pengujian performansi sistem perpipaan yang telah dibuat dan diambil nilai rata-rata dari 5 (lima) kali pengujian didapat perbedaan debit aliran pada tiap titik keluaran seperti terlihat pada tabel 4.1 di atas. Terdapat selisih ± 3 detik untuk menghasilkan 500 ml/menit pada tiap titik keluaran terhadap hasil perancangan.

Selanjutnya data pengujian debit air pada tabel 4.1 di atas dilakukan perhitungan menjadi satuan liter/menit agar sama dengan satuan debit pada perancangan. Untuk menghitungnya dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Q = \frac{500 \times 10^{-3}}{t_{rata-rata}/60} \text{ (liter/menit)} \quad (4.1)$$

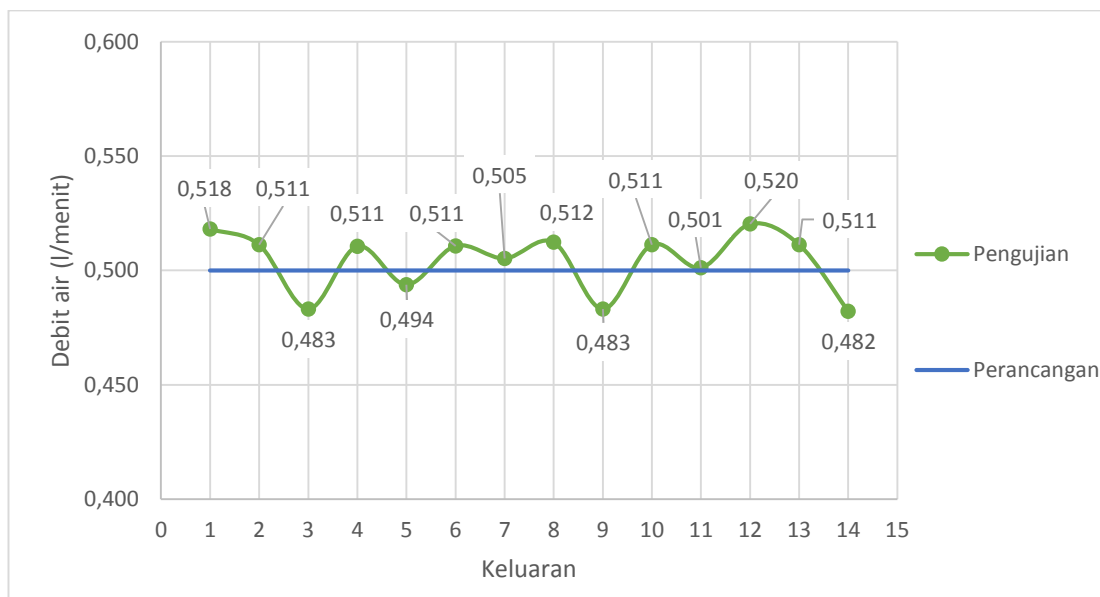
Dengan menggunakan persamaan 4.1, maka diperoleh hasil debit pada tiap keluaran seperti pada tabel di bawah.

Tabel 4.2 Debit air pada tiap keluaran.

Keluaran	Debit (l/menit)
1	0,518
2	0,511
3	0,483
4	0,511
5	0,494
6	0,511
7	0,505
8	0,512
9	0,483
10	0,511
11	0,501
12	0,520
13	0,511

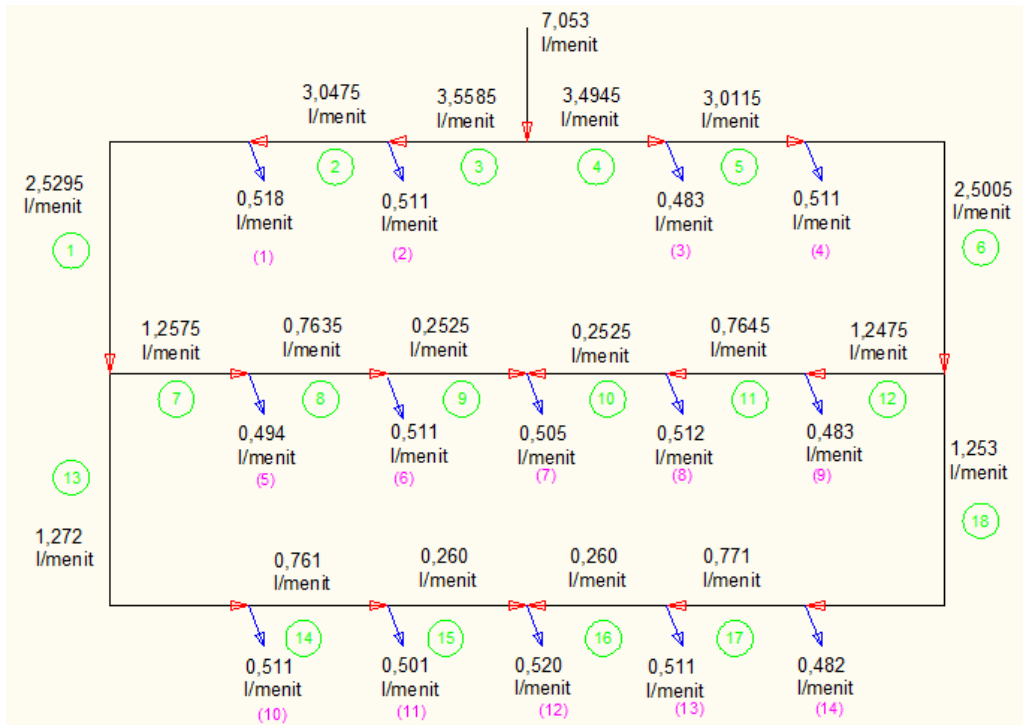
14	0,482
Debit rata-rata	0,504

Dari tabel 4.2 didapatkan debit rata-rata untuk seluruh keluaran yaitu 0,504 liter/menit. Kemudian data debit hasil pengujian dibuat grafik hubungan antara debit air *versus* keluaran pada kondisi perancangan dan hasil pengujian. Grafik ini berguna untuk membandingkan debit air hasil pengujian dengan hasil perancangan.



Gambar 4.2 Grafik debit vs keluaran hasil perancangan dengan hasil pengujian.

Setelah mendapatkan nilai debit air dari semua keluaran, selanjutnya semua debit air keluaran diterapkan pada sistem perpipaan untuk mendapatkan nilai debit air tiap pipanya dengan mengacu pada syarat metode Hardy Cross. Kemudian nilai debit di setiap pipa dalam jaringan digunakan ke dalam metode Hardy Cross untuk menentukan *head loss* di setiap pipa. Sehingga bisa diketahui koreksi debit air tiap *loop* pada sistem perpipaan tersebut.



Gambar 4.3 Debit aliran tiap pipa hasil pengujian pada sistem perpipaan.

Sebelum mengikuti langkah-langkah metode Hardy Cross debit yang didapatkan pada tiap pipa harus diubah terlebih satuannya menjadi m^3/s agar lebih mudah menghitungnya dalam perhitungan di metode Hardy Cross.

4.3.1 Debit air pada tiap pipa dari liter/menit menjadi m^3/s

$$\frac{Q \times 10^{-3}}{60}$$

Pada pipa 1

$$Q_1 = \frac{2,5295 \times 10^{-3}}{60}$$

$$Q_1 = 0,0000422 \text{ m}^3/s$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada pipa 1, maka didapat debit dari tiap pipa yang ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Debit air pada tiap pipa.

Keluaran	Q (l/menit)	Q (m^3/s)
1	2,5295	0,0000422
2	3,0475	0,0000508
3	3,5585	0,0000593

4	3,4945	0,0000582
5	3,0115	0,0000502
6	2,5005	0,0000417
7	1,2575	0,0000210
8	0,7635	0,0000127
9	0,2525	0,0000042
10	0,2525	0,0000042
11	0,7645	0,0000127
12	1,2475	0,0000208
13	1,2720	0,0000212
14	0,7610	0,0000127
15	0,2600	0,0000043
16	0,2600	0,0000043
17	0,7710	0,0000129
18	1,2530	0,0000209

4.3.2 Bilangan Reynolds pada tiap pipa (Re)

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

Pada pipa 1

$$\begin{aligned} Re_1 &= \frac{4 \times 998 \times 0,0000422}{0,001 \times \pi \times 0,0127} \\ Re_1 &= 4218,134 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada pipa 1, maka didapat bilangan Reynold pada tiap pipa yang ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Bilangan Reynold pada tiap pipa.

Keluaran	Diameter (m)	Q (m ³ /s)	Re
1	0,0127	0,0000422	4.218,134
2	0,0127	0,0000508	5.081,938
3	0,0127	0,0000593	5.934,070

4	0,0127	0,0000582	5.827,345
5	0,0127	0,0000502	5.021,906
6	0,0127	0,0000417	4.169,774
7	0,0127	0,0000210	2.096,977
8	0,0127	0,0000127	1.273,194
9	0,0127	0,0000042	421,063
10	0,0127	0,0000042	421,063
11	0,0127	0,0000127	1.274,862
12	0,0127	0,0000208	2.080,301
13	0,0127	0,0000212	2.121,157
14	0,0127	0,0000127	1.269,025
15	0,0127	0,0000043	433,570
16	0,0127	0,0000043	433,570
17	0,0127	0,0000129	1.285,701
18	0,0127	0,0000209	2.089,473

4.3.3 Koefisien gesek permukaan pada tiap 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 diasumsi menggunakan pipa smooth sehingga pada diagram Moody dengan menarik garis dari nilai Re terhadap garis kurva *smooth pipe*, sedangkan jika nilai bilangan $Re < 2300$ maka untuk menentukan nilai f menggunakan persamaan di bawah ini dan apabila nilai $2300 \leq Re \leq 4000$ maka cara menentukan nilai f sama dengan aliran laminar.

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

- Pada pipa 1 nilai $Re = 4218,134$, maka didapat $f_1 = 0,039$ (dari diagram Moody)
- Pada pipa 2 nilai $Re = 5081,938$, maka didapat $f_2 = 0,037$ (dari diagram Moody)

- Pada pipa 3 nilai $Re = 5934,07$, maka didapat $f_3 = 0,035$ (dari diagram Moody)
- Pada pipa 4 nilai $Re = 5827,345$, maka didapat $f_4 = 0,035$ (dari diagram Moody)
- Pada pipa 5 nilai $Re = 5021,906$, maka didapat $f_5 = 0,037$ (dari diagram Moody)
- Pada pipa 6 nilai $Re = 4169,774$, maka didapat $f_6 = 0,039$ (dari diagram Moody)
- Pada pipa 7

$$f_7 = \frac{64}{2096,977}$$

$$f_7 = 0,031$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada pipa 7, maka didapat koefisien gesek permukaan pada pipa 8 sampai pipa 18 yang ditunjukkan pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Koefisien gesek permukaan pada tiap pipa.

Keluaran	Re	f
1	4.218,134	0,039
2	5.081,938	0,037
3	5.934,070	0,035
4	5.827,345	0,035
5	5.021,906	0,037
6	4.169,774	0,039
7	2.096,977	0,031
8	1.273,194	0,050
9	421,063	0,152
10	421,063	0,152
11	1.274,862	0,050
12	2.080,301	0,031

13	2.121,157	0,030
14	1.269,025	0,050
15	433,570	0,148
16	433,570	0,148
17	1.285,701	0,050
18	2.089,473	0,031

4.3.4 Head loss mayor (h_f)

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

Pada pipa 1

$$h_{f_1} = \frac{0,039 \times 0,8}{2 \times 9,81} \times \frac{16 \times 0,0000422^2}{\pi^2 \times 0,0127^5}$$

$$h_{f_1} = 0,0138683 \text{ m}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada pipa 1, maka didapat *head loss mayor* pada tiap pipa yang ditunjukkan pada tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 *Head lose mayor* pada tiap pipa.

Keluaran	Diameter (m)	Q (m^3/s)	Panjang (m)	f	h_f (m)
1	0,0127	0,0000422	0,8	0,039	0,0138683
2	0,0127	0,0000508	0,3	0,037	0,0071616
3	0,0127	0,0000593	0,3	0,035	0,0092368
4	0,0127	0,0000582	0,3	0,035	0,0089076
5	0,0127	0,0000502	0,3	0,037	0,0069934
6	0,0127	0,0000417	0,8	0,039	0,0135522
7	0,0127	0,0000210	0,3	0,031	0,0010058
8	0,0127	0,0000127	0,3	0,050	0,0006107
9	0,0127	0,0000042	0,3	0,152	0,0002020
10	0,0127	0,0000042	0,3	0,152	0,0002020

11	0,0127	0,0000127	0,3	0,050	0,0006115
12	0,0127	0,0000208	0,3	0,031	0,0009978
13	0,0127	0,0000212	0,8	0,030	0,0027131
14	0,0127	0,0000127	0,3	0,050	0,0006087
15	0,0127	0,0000043	0,3	0,148	0,0002080
16	0,0127	0,0000043	0,3	0,148	0,0002080
17	0,0127	0,0000129	0,3	0,050	0,0006167
18	0,0127	0,0000209	0,8	0,031	0,0026726

4.3.5 Head loss minor (h_m)

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

Pada pipa 1

$$h_{m_1} = \left(\left(\frac{0,54 \times 8 \times 0,0000422^2}{9,81 \times \pi^2 \times 0,0127^4} \right) \times 2 \right) + \left(\frac{0,81 \times 8 \times 0,0000422^2}{9,81 \times \pi^2 \times 0,0127^4} \right)$$

$$h_{m_1} = 0,0106693 \text{ m}$$

Pada pipa 2

$$h_{m_2} = \left(\frac{0,54 \times 8 \times 0,0000508^2}{9,81 \times \pi^2 \times 0,0127^4} \right) \times 2$$

$$h_{m_2} = 0,0088494 \text{ m}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada pipa 1, maka didapat *head loss minor* pada pipa 6, 13 dan 18, sedangkan pada pipa lainnya menggunakan perhitungan yang sama pada pipa 2 sehingga didapatkan nilai *head loss minor* pada tiap pipa yang ditunjukkan pada tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Head losses minor pada tiap pipa.

Keluaran	Diameter (m)	Q (m³/s)	h_m(m)
1	0,0127	0,0000422	0,0106693
2	0,0127	0,0000508	0,0088494
3	0,0127	0,0000593	0,0120660
4	0,0127	0,0000582	0,0116358

5	0,0127	0,0000502	0,0086416
6	0,0127	0,0000417	0,0104260
7	0,0127	0,0000210	0,0015068
8	0,0127	0,0000127	0,0005555
9	0,0127	0,0000042	0,0000608
10	0,0127	0,0000042	0,0000608
11	0,0127	0,0000127	0,0005569
12	0,0127	0,0000208	0,0014829
13	0,0127	0,0000212	0,0026980
14	0,0127	0,0000127	0,0005518
15	0,0127	0,0000043	0,0000644
16	0,0127	0,0000043	0,0000644
17	0,0127	0,0000129	0,0005664
18	0,0127	0,0000209	0,0026180

4.3.6 Head loss total (h_t)

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

Pada pipa 1

$$h_{t_1} = 0,0138683 + 0,0106693$$

$$h_{t_1} = 0,0245376 \text{ m}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada pipa 1, maka didapat *head loss total* pada tiap pipa yang ditunjukkan pada tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 *Head loss total* pada tiap pipa.

Keluaran	h_f (m)	h_m (m)	h_t (m)
1	0,0138683	0,0106693	0,0245376
2	0,0071616	0,0088494	0,0160110
3	0,0092368	0,0120660	0,0213028
4	0,0089076	0,0116358	0,0205434
5	0,0069934	0,0086416	0,0156350

6	0,0135522	0,0104260	0,0239782
7	0,0010058	0,0015068	0,0025126
8	0,0006107	0,0005555	0,0011661
9	0,0002020	0,0000608	0,0002627
10	0,0002020	0,0000608	0,0002627
11	0,0006115	0,0005569	0,0011684
12	0,0009978	0,0014829	0,0024807
13	0,0027131	0,0026980	0,0054111
14	0,0006087	0,0005518	0,0011605
15	0,0002080	0,0000644	0,0002724
16	0,0002080	0,0000644	0,0002724
17	0,0006167	0,0005664	0,0011831
18	0,0026726	0,0026180	0,0052906

4.3.7 Head loss total per debit (h_t/Q)

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

- Pada pipa 1

$$\frac{h_{t_1}}{Q_1} = \frac{0,0245376}{0,0000422}$$

$$\frac{h_{t_1}}{Q_1} = 582,0345196 \text{ s/m}^2$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada pipa 1, maka didapat *head loss total* per debit pada tiap pipa yang ditunjukkan pada tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 *Head lose total* per debit pada tiap pipa.

Keluaran	Q (m ³ /s)	h _t (m)	h _t /Q (s/m ²)
1	0,0000422	0,0245376	582,0345196
2	0,0000508	0,0160110	315,2295149

3	0,0000593	0,0213028	359,1871217
4	0,0000582	0,0205434	352,7271032
5	0,0000502	0,0156350	311,5057208
6	0,0000417	0,0239782	575,3616589
7	0,0000210	0,0025126	119,8848269
8	0,0000127	0,0011661	91,6421535
9	0,0000042	0,0002627	62,4275662
10	0,0000042	0,0002627	62,4275662
11	0,0000127	0,0011684	91,6993249
12	0,0000208	0,0024807	119,3131129
13	0,0000212	0,0054111	255,2416426
14	0,0000127	0,0011605	91,4992250
15	0,0000043	0,0002724	62,8563517
16	0,0000043	0,0002724	62,8563517
17	0,0000129	0,0011831	92,0709390
18	0,0000209	0,0052906	253,3406935

4.3.8 Jumlah *head loss* total tiap *loop* (Σh_t), arah aliran yang searah jarum jam bernilai positif dan yang berlawanan arah jarum jam bernilai negatif

- *Loop 1*

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

$$\Sigma h_t = 0,0205434 + 0,015635 + 0,0239782 + 0,0002627 + 0,0011684 + 0,0024807 - 0,0245376 - 0,016011 - 0,0213028 - 0,0025126 - 0,0011661 - 0,0002627$$

$$\Sigma h_t = 0,00172443633 \text{ m}$$

- *Loop 2*

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

$$\begin{aligned}\Sigma h_t &= 0,0025126 + 0,0011661 + 0,0002627 + 0,0002724 + 0,0011831 \\ &\quad + 0,0052906 - 0,0002627 - 0,0011684 - 0,0024807 - 0,0054111 - \\ &\quad 0,0011605 - 0,0002724 \\ \Sigma h_t &= 0,00006831642 \text{ m}\end{aligned}$$

4.3.9 Jumlah head loss total per debit tiap loop ($\Sigma h_t/Q$), arah aliran yang searah jarum jam bernilai positif dan yang berlawanan arah jarum jam bernilai negatif

• *Loop 1*

$$\begin{aligned}\Sigma h_t/Q &= \frac{h_{t4}}{Q_4} + \frac{h_{t5}}{Q_5} + \frac{h_{t6}}{Q_6} + \frac{h_{t10}}{Q_{10}} + \frac{h_{t11}}{Q_{11}} + \frac{h_{t12}}{Q_{12}} - \frac{h_{t1}}{Q_1} - \frac{h_{t2}}{Q_2} - \frac{h_{t3}}{Q_3} - \frac{h_{t7}}{Q_7} - \\ &\quad \frac{h_{t8}}{Q_8} - \frac{h_{t9}}{Q_9} \\ \Sigma h_t/Q &= 352,7271032 + 311,5057208 + 575,3616589 + 62,4275662 + \\ &\quad 91,6993249 + 119,3131129 - 582,0345196 - 315,2295149 - \\ &\quad 359,1871217 - 119,8848269 - 91,6421535 - 62,4275662 \\ \Sigma h_t/Q &= 17,3712159 \text{ S/m}^2\end{aligned}$$

• *Loop 2*

$$\begin{aligned}\Sigma h_t/Q &= \frac{h_{t7}}{Q_7} + \frac{h_{t8}}{Q_8} + \frac{h_{t9}}{Q_9} + \frac{h_{t16}}{Q_{16}} + \frac{h_{t17}}{Q_{17}} + \frac{h_{t18}}{Q_{18}} - \frac{h_{t10}}{Q_{10}} - \frac{h_{t11}}{Q_{11}} - \frac{h_{t12}}{Q_{12}} - \frac{h_{t13}}{Q_{13}} - \\ &\quad - \frac{h_{t14}}{Q_{14}} - \frac{h_{t15}}{Q_{15}} \\ \Sigma h_t/Q &= 119,8848269 + 91,6421535 + 62,4275662 + 62,8563517 + \\ &\quad 92,070939 + 253,3406935 - 62,4275662 - 91,6993249 - \\ &\quad 119,3131129 - 255,2416426 - 91,499225 - 62,8563517 \\ \Sigma h_t/Q &= 0,8146925 \text{ S/m}^2\end{aligned}$$

4.3.10 Koreksi debit untuk tiap loop (ΔQ)

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

• *Loop 1*

$$\begin{aligned}\Delta Q &= \frac{0,00172443633}{1,85 \times 17,3712159} \\ \Delta Q &= 0,00005365933 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

- *Loop 2*

$$\Delta Q = \frac{0,00006831642}{1,85 \times 0,8146925}$$

$$\Delta Q = \mathbf{0,00004532728 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Dari hasil koreksi debit air yang didapat dari perhitungan dengan menggunakan Metode Hardy Cross didapat nilai ΔQ *loop 1* sebesar $5,3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ dan *loop 2* sebesar $4,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$. Karena nilai ΔQ sangat kecil hingga 10^{-5} sehingga dianggap memenuhi persyaratan Metode Hardy Cross karena mendekati 0.

Setelah melakukan analisis dari hasil pengujian performansi sistem perpipaan air untuk penyiraman tanaman kebun vertikal skala laboratorium, dapat dievaluasi bahwa hasil pembuatan kurang sesuai dengan hasil perancangan dikarenakan hasil debit air yang keluar pada 14 keluaran setelah dirata-ratakan terdapat selisih dengan debit hasil perancangan sebesar 0,004 liter/menit. Hal ini disebabkan karena ketidaksesuaian standar komponen-komponen pada pembuatan yang hanya menggunakan komponen-komponen yang terdapat dipasaran dengan standar komponen-komponen pada perancangan yang menggunakan *software*.