

Perancangan distribusi air bersih (*plumbing*) di villa permanen Wayang Windu

Taufiq Aziz¹, Hery Sonawan¹, Herman Somantri

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan, Bandung

Email: hsonawan@unpas.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.23969/ksjme.v2i1.5261>

Received: 27 Januari 2026; Revised: 26 March 2026; Published: 6 April 2026

Abstract. Clean water is recognised as a fundamental necessity that cannot be separated from daily life; therefore, its availability is considered essential. Various methods have been employed to provide clean water, one of which involves the use of piping network systems. In practice, however, problems frequently arise in the distribution of clean water, particularly in terms of mismatches between water demand and supply at different outlets, which are typically caused by discrepancies in the number of occupants or inadequacies in building design. In response to this issue, a clean water distribution system was designed using Epanet 2.0 software, with a case study conducted at the Wayang Windu permanent villa. The design process was initiated by estimating clean water demand for each building based on SNI 03-7065-2005 standards. Subsequently, the capacity of required equipment within the distribution system was determined, followed by the design of the piping network and hydraulic analysis using Epanet 2.0, with flow velocity constraints referring to API RP 14E. The results indicate that, based on the occupancy method, the total clean water demand at the Wayang Windu permanent villa was calculated to be 42.179 m³/day. Furthermore, simulation of the designed piping network using Epanet 2.0 demonstrates that the system is capable of meeting the calculated water demand for each building; however, the design criteria have not been fully satisfied, particularly with respect to flow velocity, as most π sections exhibit velocities lower than 0.9 m/s, which is below the standard specified in API RP 14E.

Keywords: clean water distribution, Hardy Cross, Epanet 2.0

Abstrak. Air bersih adalah kebutuhan dasar yang bagaimanapun sulit dipisahkan dari kehidupan sehari-hari, maka untuk itu ketersediaannya amatlah sangat penting. Banyak cara yang digunakan dalam penyediaan air bersih, salah satunya yaitu dengan menggunakan jaringan perpipaan atau sistem perpipaan. Pada kenyataannya, pendistribusian air bersih selalu terjadi permasalahan yang mana tidak sesuai kebutuhan air pada masing-masing keluaran, biasanya disebabkan tidak sesuai dengan jumlah penghuni atau dengan perancangan pada bangunan tersebut. Untuk itu salah satu upaya yang dilakukan yaitu merancang distribusi air bersih dengan menggunakan *software Epanet 2.0* dengan studi kasus di villa permanen Wayang Windu. Merancang distribusi air bersih dimulai dari menghitung kebutuhan air bersih di setiap bangunan yang mengacu pada SNI 03-7065-2005. Selanjutnya menghitung kapasitas peralatan yang dibutuhkan pada sistem distribusi air, merancang sistem jaringan pipa, dan melakukan perhitungan dalam perancangan distribusi air bersih menggunakan *software Epanet 2.0* dengan batasan kecepatan yang mengacu pada API RP 14E. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan berdasarkan metode jumlah penghuni, besarnya kebutuhan air bersih di villa permanen Wayang Windu sebesar 42,179 m³/d. Lalu setelah dilakukan simulasi jaringan pipa yang telah dirancang menggunakan *software Epanet 2.0*, jaringan tersebut mampu melayani kebutuhan air bersih setiap bangunan sesuai perhitungan, akan tetapi kriteria desain yang ada pada jaringan pipa tersebut masih belum memenuhi standar yang ditentukan oleh API RP 14E yaitu kecepatan aliran yang masih lebih rendah dari 0,9 m/s pada kebanyakan pipa.

Kata kunci: Distribusi air bersih, *Hardy Cross*, *Epanet 2.0*

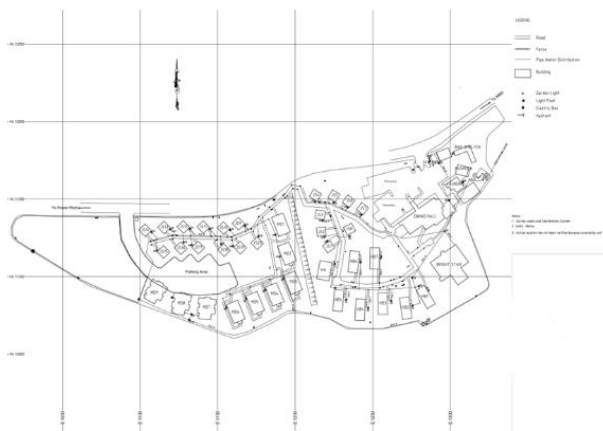
PENDAHULUAN

Air bersih merupakan kebutuhan dasar yang sulit dipisahkan dari kehidupan sehari-hari, oleh karena itu ketersediaannya sangatlah penting. Banyak cara yang digunakan dalam penyediaan air bersih, salah satunya yaitu dengan menerapkan jaringan/sistem

perpipaan. Dengan laju pertumbuhan penduduk serta perkembangan suatu desa ataupun kota di masa sekarang dan yang akan datang, kebutuhan air bersih sangat diperlukan untuk fasilitas umum, industri, sosial maupun ekonomi.

Pada kenyataannya, pendistribusian air bersih selalu terjadi permasalahan yang mana tidak sesuai kebutuhan air di masing-masing keluaran, yang biasanya disebabkan oleh tidak sesuai kebutuhan itu dengan jumlah pengguna. Untuk itu salah satu upaya yang dilakukan yaitu merancang sistem perpipaan distribusi air bersih dengan menggunakan *software Epanet 2.0* dimana diharapkan kebutuhan pengguna sesuai dengan kapasitas air yang tersedia dan memenuhi standar. Obyek dari penelitian ini adalah Villa Wayang Windu dengan denah yang dapat dilihat pada Gambar 1.1. Dari denah itu, sumber air terletak pada lokasi A dan air didistribusikan ke setiap bangunan yang ada di lingkungan Villa Wayang Windu.

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan menganalisis sistem perpipaan distribusi air bersih pada kawasan Villa Wayang Windu dengan menggunakan perangkat lunak EPANET 2.0, sehingga keseimbangan antara kapasitas suplai air dan kebutuhan pengguna pada setiap titik keluaran dapat dicapai secara optimal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan model distribusi yang andal secara teknis serta memenuhi standar yang berlaku, baik dari aspek tekanan, debit aliran, maupun kontinuitas pelayanan. Selain itu, temuan yang diperoleh diharapkan dapat dijadikan sebagai acuan dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem distribusi air bersih pada kawasan serupa, khususnya dalam mengatasi ketidakseimbangan distribusi akibat variasi jumlah dan kebutuhan pengguna.

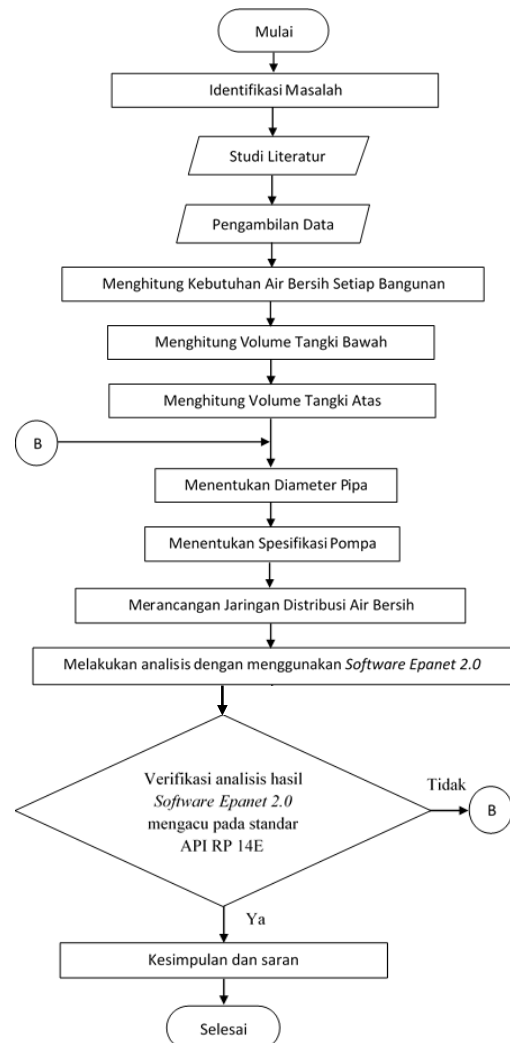


Gambar 1.1. Denah Villa Permanen Wayang Windu [4]

METODOLOGI

Untuk merancang sistem perpipaan dalam rangka memenuhi kebutuhan air bersih di lingkungan Villa Wayang Windu maka langkah-langkah yang

akan dilakukan untuk menjawab persoalan itu dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

Dalam perancangan sistem perpipaan ini diawali dengan menghitung kebutuhan air bersih sebagai berikut:

Pemakaian air dalam satu hari dihitung menggunakan Persamaan 2.1.

$$Q_d = \text{Jumlah penghuni} \times \text{Pemakaian air per orang per hari} \quad (2.1)$$

Antisipasi kebocoran dihitung menggunakan Persamaan 2.2 [9]

$$Q_{d \text{ total}} = Q_d \times 150 \% \quad (2.2)$$

Dimana:

$Q_{d \text{ total}}$ = Total Pemakaian air (m^3 /hari)

Q_d = Pemakaian air dalam 1 hari (m^3 /hari)

Kebutuhan air per jam dihitung menggunakan Persamaan 2.3.

$$Q_h = \frac{Q_{d \text{ total}}}{t} \quad (2.3)$$

Dimana:

Q_h = Pemakaian air per jam (m^3/h)

$Q_{d \text{ total}}$ = Total Pemakaian air (m^3/d)

t = Pemakaian rata-rata (h/d)

Debit pemakaian air dihitung menggunakan Persamaan 2.4

$$Q = \frac{Q_h}{t} \quad (2.4)$$

Dimana:

Q = Debit Pemakaian air (m^3/min)

Q_h = Pemakaian rata-rata (m^3/h)

t = Waktu pemakaian air (s)

Dalam perancangan distribusi air bersih ini menggunakan dua tangki yaitu tangki bawah dan tangki atas. Adapun untuk menghitung dimensi tangki bawah dapat menggunakan Persamaan 2.5.

$$V_R = Q_h \times t \quad (2.5)$$

Dimana:

V_R = Volume Tangki Bawah (m^3)

Q_h = Pemakaian air per jam (m^3/h)

t = Waktu kebutuhan air dalam 1 hari (h)

Untuk mengetahui tekanan pada suatu alat *plumbing* terhadap muka air terendah pada tangki atas, dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.6.

$$Ph = \rho \times g \times h \quad (2.6)$$

Dimana:

Ph = Tekanan pada alat *plumbing* (N/m^2)

ρ = Masa jenis fluida (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

h = Ketinggian dari permukaan air (m)

kemudian untuk menghitung dimensi tangki atas dapat menggunakan Persamaan 2.7.

$$V_E = Q \times t_b \quad (2.7)$$

Dimana:

V_E = Volume tangki atas (m^3)

Q = Debit Pemakaian air (m^3/s)

t_b = Waktu Beban Puncak (s)

Pada dasarnya untuk menentukan diameter pipa yang akan digunakan, maka harus diketahui debit air yang mengalir. Dalam hal ini debit masuk dan keluar pada tangki atas penting diketahui untuk mendapatkan diameter pipa pada pompa dan jaringan distribusi air menuju unit layanan.

Pada volume atur ada 2 jenis aliran yang terjadi yaitu:

Aliran Steady

Aliran *steady* didefinisikan dimana pada sistem terbuka sifat-sifat dapat berubah posisinya dari titik ke titik, tetapi besaran sifat tersebut tetap (tidak berubah lagi terhadap waktu).

Aliran Tidak Steady / Transien

Aliran Tidak *Steady* dalam volume atur terjadi perubahan massa dan perubahan energi selama waktu tertentu, dimana sama dengan selisih jumlah aliran massa masuk dengan jumlah aliran massa keluar volume atur. Dapat dilihat pada Persamaan 2.12.

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = \sum_i \dot{m}_i - \sum_e \dot{m}_e \quad (2.12)$$

Dimana:

dm_{cv} = Perubahan masa (kg)

dt = Waktu selama terjadi perubahan massa (s)

Setelah didapat debit atau laju aliran volume keluar dan masuk yang terjadi pada tangki atas, selanjutnya ukuran pipa yang digunakan dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.13.

$$Q = v \times A \quad (2.13)$$

Maka diameter pipa dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.14.

$$D = \sqrt[2]{\left(\frac{4 \times Q}{v \times \pi}\right)} \quad (2.14)$$

Dimana :

Q = Debit pengaliran (m^3/s)

D = Diameter pipa (m)

v = Kecepatan aliran (m/s)

Kecepatan pengaliran sebenarnya dihitung dengan Persamaan 2.15.

$$v_{cek} = \frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \quad (2.15)$$

Dimana:

v_{cek} = Kecepatan pengaliran (m/s)

Q = Debit pengaliran (m^3/s)

D = Diameter pipa (m)

Perencanaan Pompa Air Bersih

Dalam melakukan perencanaan pompa air bersih hal yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

Menghitung head total pompa

Head pompa adalah energi per satuan berat fluida yang diberikan oleh pompa sehingga fluida tersebut dapat mengalir dari *suction* ke *discharge*. Head pompa disini meliputi [12]:

Head Statis, yang meliputi:

Pressure Head

Elevation Head: Ada dua macam instalasi pada pipa *suction*, yaitu: *Suction Head*. Suatu instalasi pipa *suction* dimana permukaan fluida terletak di atas sumbu pompa. Bersarnya *elevation head* didapat dengan Persamaan 2.16.

$$h_a = h_d - h_s \quad (2.16)$$

Dimana:

h_d = Head discharge (m)

h_s = Head suction (m)

Suction Lift. Suatu instalasi pipa *suction* dimana permukaan fluida terletak di bawah sumbu pompa. Besarnya *elevation head* didapat dengan Persamaan 2.17.

$$h_a = h_d + h_s \quad (2.17)$$

Head dinamis merupakan head pompa yang terdiri dari:

Velocity Head. Merupakan head yang disebabkan oleh adanya perbedaan kecepatan fluida di *suction reservoir* dengan di *discharge reservoir*.

Head Loss adalah satu kerugian aliran yang terjadi sepanjang saluran pipa, baik itu pipa lurus, belokan, saringan, katup dan sebagainya. *Head Loss* dapat digolongkan menjadi dua, yaitu:

Head Loss Mayor. Besarnya *head loss mayor* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.18 dari *Hazen-Williams* [9].

$$h_{lf} = \frac{10,666 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,85}} \times L \quad (2.18)$$

Dimana:

Q = Laju aliran volume (m^3/s)

C = Koefisien kekerasan pipa *Hazen-Williams*

L = Panjang pipa (m)

Head Loss Minor. Besarnya *head loss minor* tergantung dari koefisien tahanan (k) aksesoris yang digunakan, dapat dilihat pada Persamaan 2.19.

$$h_{lm} = k \frac{v^2}{2g} \quad (2.19)$$

Dimana:

k = koefisien tahanan aksesoris

v = kecepatan alir (m/s)

g = percepatan grafitasi (m^2/s)

Head total instalasi dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.20.

$$H_{tot} = h_a + \Delta hp + h_l + \frac{v^2}{2g} \quad (2.20)$$

Dimana:

h_a = head statis (m)

Δhp = perbedaan tekanan (m)

h_l = *head loss* total pipa (m)

v = kecepatan keluar (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Net Positive Suction Head (NPSH)

Net Positive Suction Head Available (NPSHa)

NPSHa dapat dirumuskan dengan Persamaan 2.21.

$$NPSHa = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_v}{\gamma} - h_s - h_{ls} \quad (2.21)$$

Dimana:

NPSHa = NPSH yang tersedia (m)

P_a = tekanan pada permukaan air (kgf/m^2)

P_v = tekanan uap jenuh (kgf/m^2)

γ = berat jenis air (kgf/m^3)

h_s = head isap statis (m)

h_{ls} = head pada pipa hisap (m)

Net Positive Suction Head Require (NPSHr)

Harga NPSH yang diperlukan didapatkan dari pabrik pompa yang bersangkutan. Syarat kerja Pompa tidak mengalami kavitasi adalah dengan memasang instalasi pompa dengan **NPSH yang tersedia (NPSHa) > NPSH yang diperlukan (NPSHr)**.

Metode Hardy Cross

Metode ini merupakan metode numerik untuk menentukan debit dan *head loss* pada *loop* jaringan pipa. Metode ini berdasarkan hubungan antara Persamaan dasar dari kontinuitas dan *head loss* aliran dalam pipa. Karena metode *Hardy Cross* berdasarkan persamaan kontinuitas dan *head loss* aliran, maka harus memenuhi persyaratan:

Jumlah laju aliran volume yang masuk sama dengan keluar pada tiap titik percabangan, dengan dituliskan seperti pada Persamaan 2.22.

$$\sum Q_{in} = \sum Q_{out} \quad (2.22)$$

Jumlah *head loss* pada tiap loop tertutup adalah sama dengan nol, dengan dituliskan seperti pada Persamaan 2.23.

$$\sum_{Loop\ i} h_{f,i} = \sum_{Loop\ i} K_i Q_i^n = 0 \quad (2.23)$$

Langkah-langkah metoda *Hardy Cross* adalah sebagai berikut:

1. Perkirakan secara sembarang laju aliran volume dan arah aliran pada masing-masing pipa dalam setiap loop.
2. Hitung nilai K. K adalah konstanta koreksi pipa, berdasarkan Persamaan 2.24 menurut *Hazen-Wiliams*.

$$K = \frac{10,704 \times L}{C^{1,85} \times d^{4,871}} \quad (2.24)$$

3. Hitung nilai $\sum_{Loop\ i} (\pm)K_i Q_i^n = 0$, dimana n = 1.85 (jika menggunakan persamaan *Hazen-Wiliams*), dan \pm adalah arah aliran pada loop tertutup mengikuti arah jarum jam, tanda (+) untuk arah aliran searah dengan jarum jam dan tanda (-) untuk aliran berlawanan jarum jam.
4. Jika hasil perhitungan nomor 3 tidak sama dengan nol, maka hitung koreksi ketelitian untuk laju aliran volume, dengan Persamaan 2.25:

$$\Delta L = - \frac{\sum_{Loop\ i} (\pm)K_i Q_{oi}^n}{\sum_{Loop\ i} |nK_i Q_{oi}^{n-1}|} \quad (2.25)$$

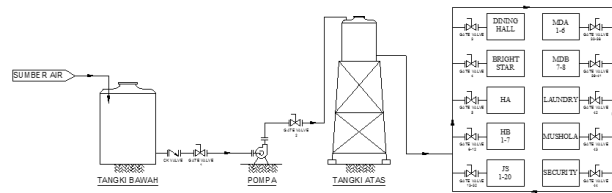
5. Hitung laju aliran volume perkiran baru untuk iterasi berikutnya dengan Persamaan 2.26:

$$Q_{baru} = Q_{lama} \pm \Delta L \quad (2.26)$$

Iterasi akan dihentikan bila $\Delta L = 0$ atau sampai batas toleransi yang ditentukan [7].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan perhitungan lebih lanjut, pertama yang dilakukan adalah membuat kondisi perancangan sebagai acuan langkah kankah selanjutnya. Maka berdasarkan batasan masalah yang dibuat dihasilkan lah kondisi perancangan, lihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. *Flow Diagram* Distribusi Air

Penentuan Kebutuhan Air Bersih

Berikut ini langkah-langkah menentukan kebutuhan air bersih dengan metode berdasarkan jumlah penghuni :

Kepadatan penghuni tiap bangunan

Dari hasil survei dan wawancara untuk jumlah kepadatan penghuni atau pengguna setiap bangunan dapat diketahui pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Kepadatan Penghuni/Pengguna Setiap Bangunan

No	Tipe Bangunan	Tempat Tidur / Unit	Total Unit	Asumsi Pengguna
1	DH	-	1	50
2	BS	-	1	60
3	HA	4	1	4
4	HB	4	7	28
5	JS	2	20	40
6	MD-A	6	6	36
7	MD-B	10	3	30
8	Loundry	-	1	138
9	Mushola	-	1	30
10	Security	-	1	5

Pemakaian air rata-rata sehari

Untuk menghitung pemakaian air rata-rata sehari, standar yang digunakan mengenai pemakaian air per orang per hari berdasarkan sifat penggunaan setiap bangunan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Pemakaian Air Dingin Minimum Sesuai Pengguna Gedung [2]

No.	Penggunaan gedung	Pemakaian air	Satuan
1	Rumah tinggal	120	Liter/penghuni/hari
2	Rumah susun	100 ¹⁾	Liter/penghuni/hari
3	Asrama	120	Liter/penghuni/hari
4	Rumah Sakit	500 ²⁾	Liter/tempat tidur pasien /hari
5	Sekolah Dasar	40	Liter/siswa/hari
6	SLTP	50	Liter/siswa/hari
7	SMU/SMK dan lebih tinggi	80	Liter/siswa/hari
8	Ruko/Rukan	100	Liter/penghuni dan pegawai/hari
9	Kantor / Pabrik	50	Liter/pegawai/hari
10	Toserba, toko pengecer	5	Liter/m ²
11	Restoran	15	Liter/kursi
12	Hotel berbintang	250	Liter/tempat tidur /hari
13	Hotel Melati/ Penginapan	150	Liter/tempat tidur /hari
14	Gd. pertunjukan, Bioskop	10	Liter/kursi
15	Gd. Serba Guna	25	Liter/kursi
16	Stasiun, terminal	3	Liter/pemumpang tiba dan pergi
17	Peribadatan	5	Liter/orang, (belum dengan air wudhu)

Maka dari standar di atas didapat kebutuhan air untuk setiap bangunan, dapat diketahui pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Kebutuhan Air Untuk Setiap Bangunan

No	Tipe Bangunan	Total Pengguna	Pemakaian L/orang/d	Total Pemakaian L/d
1	DH	50	15	750
2	BS	60	25	1500
3	HA	4	150	600
4	HB	28	150	4200
5	JS	40	150	6000
6	MD-A	36	150	5400
7	MD-B	30	150	4500
8	Loundry	138	25.5	3519
9	Mushola	30	30	900
10	Security	5	150	750
Total				28119

Dari data perhitungan di atas diketahui jumlah kebutuhan air bersih yang digunakan dengan jangka waktu pemakaian air rata-rata sehari 24 (jam) dihitung dengan Persamaan 2.1:

$$Q_d = 28.119 \text{ liter/d}$$

$$Q_d = 28,119 \text{ m}^3/\text{d}$$

Antisipasi kebocoran

Untuk mengurangi atau menghindari resiko paling buruk yaitu kebocoran, kita asumsi kan jumlah air yang akan berkurang karena bocor $\pm 50\%$ [9] maka dengan Persamaan 2.2 didapat:

$$Q_{d \text{ total}} = (100\%+50\%) \times 28,119 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{d \text{ total}} = 150\% \times 28,119 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{d \text{ total}} = 42,179 \text{ m}^3/\text{d}$$

Maka pemakaian air per hari dengan penambahan 50% adalah sebesar 41,954 m³/d.

Pemakaian air per jam

Untuk dapat mengetahui debit air per jam nya, diperlukan data jangka waktu pemakaian air rata-rata sehari dalam jam nya. Pada penelitian ini pemakaian diasumsikan beroperasi selama 24 jam, maka menggunakan Persamaan 2.3 dengan:

$$Q_{d \text{ total}} = \text{Total Pemakaian air (14,954 m}^3/\text{d)}$$

$$t = \text{Pemakaian rata-rata (24 jam/d)}$$

Sehingga:

$$Q_h = \frac{42,179 \text{ m}^3/\text{d}}{24 \text{ jam/d}}$$

$$Q_h = 1,757 \text{ m}^3/\text{h}$$

Maka pemakaian air per hari pada jangka waktu 24 jam adalah sebanyak 1,781 m³/h.

Debit pemakaian air

Dihitung menggunakan Persamaan 2.4, dengan:

$$Q_h = \text{Pemakaian rata-rata (1.757 m}^3/\text{h)}$$

$$t = \text{Waktu pemakaian air 1 jam (3600 s)}$$

Sehingga:

$$Q = \frac{1,757 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}}$$

$$Q = 0,000488 \text{ m}^3/\text{s}$$

Penentuan Ukuran Tangki Bawah

Dengan air yang ditampung pada tangki bawah diperlukan ukuran yang sesuai terhadap kapasitas penampungan, sehingga penggunaan air pada jam puncak dapat tercukupi dan mampu menyediakan kebutuhan air dalam 1 hari. Penentuan ukuran tangki bawah ditentukan berdasarkan Persamaan 2.5, dengan:

$$Q_h = \text{Pemakaian air per jam (1,748 m}^3/\text{h)}$$

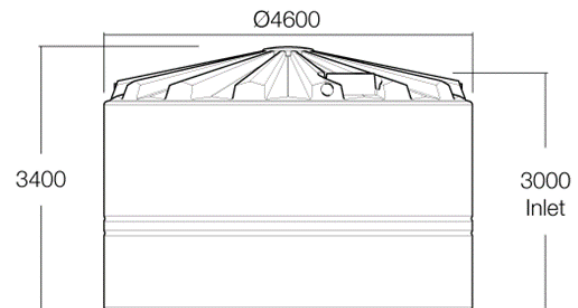
$$t = \text{Kebutuhan air dalam 1 hari (24 h)}$$

Sehingga:

$$V_R = 1,757 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ jam}$$

$$V_R = 42,179 \text{ m}^3 = 42.179 \text{ L}$$

Untuk itu dibutuhkan Tangki Bawah dengan volume minimal 42.179 L. Bila dilihat ukuran tangki yang tersedia di pasaran [3] maka didapatkan ukuran volume tangki 45.000 L, dengan dimensi tangki seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Dimensi Tangki Bawah [3]

Penentuan Ukuran Tangki Atas

Dalam menentukan dimensi tangki atas terlebih dahulu harus ditentukan kapasitas volume air yang harus ditampung dalam tangki tersebut. Perhitungan tangki atas menggunakan perencanaan 1 tangki mampu menyediakan kebutuhan air pada beban puncak yang terjadi selama 60 menit ke

seluruh unit layanan, sehingga bila dihitung menggunakan Persamaan 2.6, dengan:

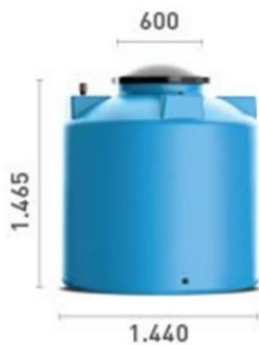
$$Q = \text{Debit Pemakaian air } (0,000488 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$t_b = \text{Waktu Beban Puncak } (60 \text{ menit} = 3600 \text{ detik})$$

Sehingga:

$$V_E = 0,000488 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 \text{ s} = 1,757 \text{ m}^3 \\ = 1.757 \text{ L}$$

Untuk itu dibutuhkan Tangki Atas dengan volume minimal 1.757 L. Bila dilihat ukuran tangki yang tersedia di pasaran [10] maka didapatkan ukuran volume tangki 2.000 L, dengan dimensi tangki seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Dimensi Tangki Atas [10]

Sistem penyediaan air bersih biasanya dirancang sedemikian agar pada alat-alat tersebut di atas dapat disediakan tekanan air sebesar minimum $1,0 \text{ kg/cm}^2$. Dengan demikian maka tangki atas harus dipasang sedemikian sehingga muka air terendah berada 10 m atau lebih di atas alat-alat *plumbing* tersebut [6]. Pernyataan ini dapat dibuktikan dengan Persamaan 2.7, dimana:

$$P_h = \text{Tekanan pada alat } \textit{plumbing} \text{ (} 1 \text{ kgf/cm}^2 \\ = 100.000 \text{ N/m}^2)$$

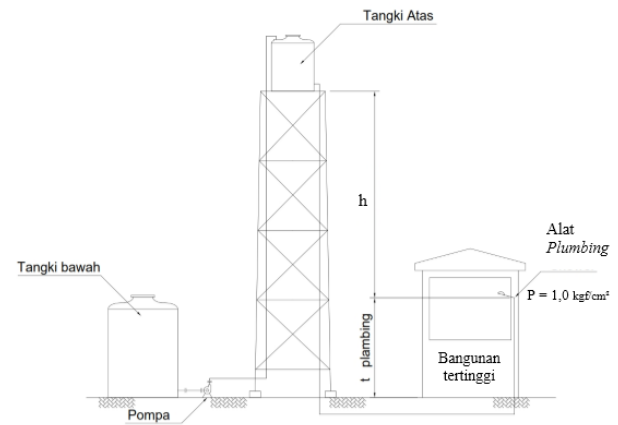
$$\rho = \text{Masa jenis air } (1000 \text{ kg/m}^3)$$

$$g = \text{Perecepatan gravitasi } (9.8 \text{ m/s}^2)$$

Sehingga:

$$h = \frac{P_h}{\rho \times g} = \frac{100.000 \text{ N/m}^2}{1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2} \\ = 10,2 \text{ m}$$

Maka dilakukan perhitungan berdasarkan skematik pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Skematik *Piping System*

Dari hasil survei dan wawancara alat pelambing tertinggi terdapat pada bangunan HA dan HB yaitu shower dengan ketinggian 4,2 m pada lantai 2.

Muka air terendah pada tangki atas terhadap peralatan pelambing tertinggi yaitu diusahakan lebih dari 10,2 m.

Sehingga didapat ketinggian menara:

$$H_{\text{menara}} \geq 4,2 \text{ m} + 10,2 \text{ m} \\ \geq 14,4 \text{ m}$$

Jadi tinggi menara tangki atas yang digunakan yaitu 14,5 m.

Penentuan Ukuran Diameter Pipa

Diameter pipa pangalir dari tangki bawah ke tangki atas

Dengan diketahui tangki atas memiliki kapasitas 2000 L atau $2,0 \text{ m}^3$ yang harus terisi air menggunakan pompa selama 15 menit, dan di saat yang sama mengeluarkan air dengan debit $0,000488 \text{ m}^3/\text{s}$. Maka perlu dihitung debit yang harus dipompakan untuk mengisi tangki atas, perhitungan dapat di lihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Perhitungan Metode Volume Atur

Aliran	$\Delta \dot{m}_{CV}$ kg/s	\dot{m}_e kg/s	\dot{m}_i kg/s
<i>Steady</i>	0 (Tidak Ada Perubahan massa terhadap waktu)	0,488 (Berdasarkan Persamaan 2.9)	0,488 (Berdasarkan Persamaan 2.8)
<i>Transien</i>	2,222 (Perubahan massa selama 15 menit)	0,488 (Berdasarkan Persamaan 2.9)	2,710 (Berdasarkan Persamaan 2.12)

Maka laju aliran massa yang masuk untuk memenuhi tangki 2,0 m³ selama 15 menit sebesar 2,710 kg/s. Dengan ini aliran *transien* dapat diterapkan dalam pengisian tangki atas.

Selanjutnya untuk menghitung diameter pipa pengalir dari tangki bawah ke tangki atas, dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

Ditentukan debit pemompaan berdasarkan Persamaan 2.11, dengan:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= Q = \text{Debit pemompaan (m}^3/\text{s)} \\ \dot{m} &= \text{Laju aliran massa masuk tangki} \\ &\quad (2,710 \text{ kg/s)} \\ \rho &= \text{Densitas air (1000 kg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{2,710 \text{ kg/s}}{1000 \text{ kg/m}^3} \\ Q &= 0,00271 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Ditentukan diameter pipa pengaliran berdasarkan Persamaan 2.14, dimana:

$$\begin{aligned} v &= 3 \text{ m/s} \\ Q &= 0,002710 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} D &= \sqrt[2]{\left(\frac{4 \times 0,002710 \text{ m}^3/\text{s}}{3 \text{ m/s} \times \pi}\right)} \\ D &= 0,0339 \text{ m} = 33,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dengan menyesuaikan batasan masalah yang ditentukan maka *Nominal Pipe Size* (NPS) dipilih pipa PVC seri S. 6,3 berdasarkan standar SNI-0084-2002 dilakukan pengecekan pada Tabel 4.4 Spesifikasi pipa SNI [13] yang biasa tersedia di pasaran.

Tabel 4.5. Spesifikasi Pipa SNI [13]

SNI Vinilon uPVC PIPES (SNI 06-0084-2002)								
DIAMETER				THICKNESS (mm)				
NOMINAL (inch - mm)	OUTSIDE (mm)	EFFECTIVE LENGTH(m)	JOINTING SYSTEM	S-6,3	S-8	S-10	S-12,5	S-16
1/2" - 16	20	4	SCJ	1.5	-	-	-	-
3/4" - 20	25	4	SCJ	1.9	1.5	-	-	-
1" - 25	32	4	SCJ	2.4	1.9	1.6	-	-
1.1/4" - 30	40	4	SCJ	3.0	2.4	1.9	1.6	1.5
1.1/2" - 40	50	4	SCJ	3.7	3.0	2.4	2.0	1.6
2" - 50	63	6	SCJ/RRJ	4.7	3.8	3.0	2.4	2.0
2.1/2" - 65	75	6	SCJ/RRJ	5.5	4.5	3.6	2.9	2.3
3" - 75	90	6	SCJ/RRJ	6.6	5.4	4.3	3.5	2.8

Dari tabel di atas maka diameter yang mendekati atau tidak kurang dari 33,9 mm adalah pipa diameter (NPS) 40 mm.

$$\begin{aligned} D_o &= 50 \text{ mm} \\ D_i &= D_o - \text{Tebal dinding} \\ D_i &= 50 \text{ mm} - (2 \times 3,7 \text{ mm}) \\ D_i &= 42,6 \text{ mm} = 0,0426 \text{ m} \end{aligned}$$

Cek kecepatan alir yang sebenarnya dengan Persamaan 2.15, dimana:

$$\begin{aligned} Q &= 0,002710 \text{ m}^3/\text{s} \\ D &= 0,0426 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} V_{\text{cek}} &= \frac{0,002710 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{1}{4} \times \pi \times (0,0426 \text{ m})^2} \\ V_{\text{cek}} &= 1,901 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Diameter pipa distribusi

Selanjutnya untuk menghitung diameter pipa distribusi dari tangki atas menuju setiap unit layanan, dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

Ditentukan debit pengaliran

$$Q = 0,000488 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ditentukan diameter pipa pengaliran dengan Persamaan 2.14, dimana:

$$\begin{aligned} v &= 3 \text{ m/s} \\ Q &= 0,000488 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} D &= \sqrt[2]{\left(\frac{4 \times 0,000488 \text{ m}^3/\text{s}}{3 \text{ m/s} \times \pi}\right)} \\ D &= 0,0143 \text{ m} = 14,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari Tabel 4.4 maka diameter yang mendekati atau tidak kurang dari 14,3 mm adalah pipa diameter (NPS) 16 mm.

$$\begin{aligned} D_o &= 20 \text{ mm} \\ D_i &= D_o - \text{Tebal dinding} \\ D_i &= 20 \text{ mm} - (2 \times 1,5 \text{ mm}) \\ D_i &= 17 \text{ mm} = 0,017 \text{ m} \end{aligned}$$

Cek kecepatan alir yang sebenarnya dengan Persamaan 2.15, dimana:

$$\begin{aligned} Q &= 0,000488 \text{ m}^3/\text{s} \\ D &= 0,017 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$V_{cek} = \frac{0,000488 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{1}{4} \times \pi \times (0,017\text{m})^2}$$

$$V_{cek} = 2,150 \text{ m/s}$$

Perencanaan Pompa Air Bersih

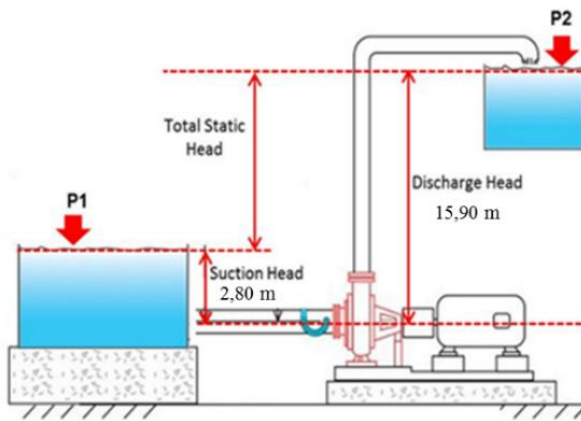
Berikut merupakan hal-hal yang perlu ditentukan dalam perencanaan pompa:

Perhitungan Head Total Pompa

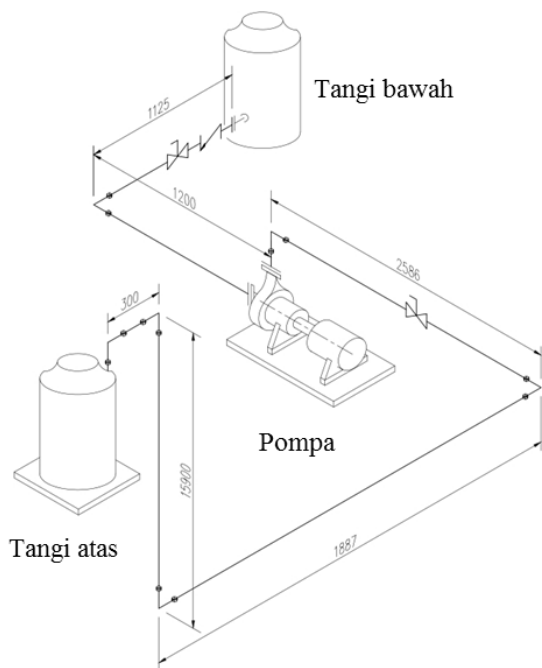
Untuk menghitung head total pompa digunakan Persamaan 2.20, dimana perlu didapatkan beberapa parameter di bawah ini:

Head Statis total

Untuk menghitung head statis total pompa digunakan Persamaan 2.16 dan skematik pada Gambar 4.5, dimana:



Gambar 4.5. Skematik Head Pompa [12]



Gambar 4.6. Isometrik Instalasi Pompa

Sehingga:

$$h_a = 15,90 \text{ m} - 2,80 \text{ m}$$

$$h_a = 13,10 \text{ m}$$

$\Delta h_p = 0$ (Asumsi permukaan air pada tangki bawah dan atas tekanan air nya sama)

Perhitungan Head loss total

Untuk menghitung head loss total pompa, yaitu dengan menjumlahkan head loss mayor dan minor, berdasarkan isometrik yang telah dibuat pada Gambar 4.6, head loss mayor dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.18 dari Hazen Williams.

Tabel 4.6. Perhitungan head loss mayor

	Suction	Discharge
Q (m ³ /s)	0,002710	0,002710
L (m)	2,325	20,673
D (m)	0,0426	0,0426
C	150	150
h_{lf} (m)	0,185	1,644

Maka:

$$h_{lf} = h_{lf \text{ Suction}} + h_{lf \text{ Discharge}}$$

$$h_{lf} = 0,185 \text{ m} + 1,644 \text{ m}$$

$$h_{lf} = 1,829 \text{ m}$$

Head loss minor dapat dihitung dengan Persamaan 2.19, di mana:

Tabel 4.7. Pipa Hisap 50 mm (Suction Pipe)

Qty	Deskripsi	K	v (m/s)	h_{lm} (m)
1	Entrane Projecting	1	1,901	0,184
1	Elbow 90°	1,129	1,901	0,208
1	Gate Valve	0,17	1,901	0,031
1	Check Valve	2	1,901	0,368
Total				0,791

Tabel 4.8. Pipa Hisap 50 mm (Discharge Pipe)

Qty	Deskripsi	K	v (m/s)	h_{lm} (m)
4	Elbow 90°	1,129	1,901	0,831
1	Gate Valve	0,17	1,901	0,031
Total				0,862

Maka:

$$h_{lm} = h_{lm \text{ Section}} + h_{lm \text{ Discharge}}$$

$$h_{lm} = 0,791\text{m} + 0,862\text{ m}$$

$$h_{lm} = 1,653\text{ m}$$

Head loss total pompa sebesar:

$$h_l = h_{lf} + h_{lm}$$

$$h_l = 1,829\text{m} + 1,653\text{m}$$

$$h_l = 3,482\text{ m}$$

Sehingga head total pompa dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.20, dimana:

$$H_{tot} = 13,10\text{ m} + 0 + 3,482\text{ m}$$

$$+ \frac{(1,901\text{m/s})^2}{2g}$$

$$H_{tot} = 16,766\text{ m}$$

Pemilihan Jenis Pompa

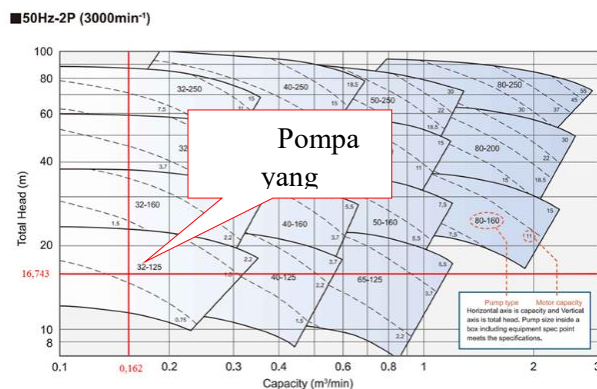
Diketahui:

$$Q = 0,002710\text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,162\text{ m}^3/\text{min}$$

$$H = 16,766\text{ m}$$

Bila mengacu pada pompa yang ada di pasaran salah satunya pompa Torishima maka spesifikasi yang didapat dilihat pada Gambar 4.7 [11].



Gambar 4.7. Diagram Pemilihan Pompa Torishima [11]

Berdasarkan diagram pemilihan pompa Torishima maka didapat Pompa dengan spesifikasi seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7. Pompa yang dipilih adalah 32-125 1.5 di mana:

- 32-125 = Model
- DN1 = 50 mm
- DN2 = 32 mm
- Daya = 1,5 kW / 50 Hz / 2P / 3000 rpm

Kemudian berdasarkan model pompa di atas, kurva performa pompa Torishima tipe 32-125. Kurva tersebut digunakan untuk mendapatkan

ukuran *impeller* minimal, efisiensi saat desain operasi, daya poros dan NPSH yang diperlukan, maka didapat:

$$\text{Ukuran Impeller minimal} = 114\text{ mm}$$

$$\text{Efisiensi saat desain operasi} = 60\%$$

$$\text{Daya Poros} = 0,75\text{ kW (Impeller 114 mm)}$$

$$\text{NPSHr} = 1,5\text{ m}$$

Perhitungan NPSH (Net Positive Suction Head)

NPSH dihitung untuk mengetahui kinerja pompa untuk masalah kavitasi. Syarat kerja Pompa tidak mengalami kavitasi adalah **NPSH yang tersedia > NPSH yang diperlukan.**

NPSH yang tersedia (NPSHa) dihitung dengan Persamaan 2.21, dimana:

$$P_a = (1\text{ atm} = 10332,274\text{ kgf/m}^2)$$

$$P_v = (20^\circ\text{C} = 238,51\text{ kgf/m}^2)$$

$$\gamma = (1000\text{ kgf/m}^3)$$

$$h_s = (2,80\text{ m})$$

$$h_{ls} = (0,972\text{ m})$$

Sehingga:

$$\text{NPSHa} = \frac{10332,274\text{ kgf/m}^2}{1000\text{ kgf/m}^3} + \frac{238,51\text{ kgf/m}^2}{1000\text{ kgf/m}^3} - 2,80\text{ m} - 0,972\text{ m}$$

$$\text{NPSHa} = 6,798\text{ m}$$

NPSH yang diperlukan (NPSHr)

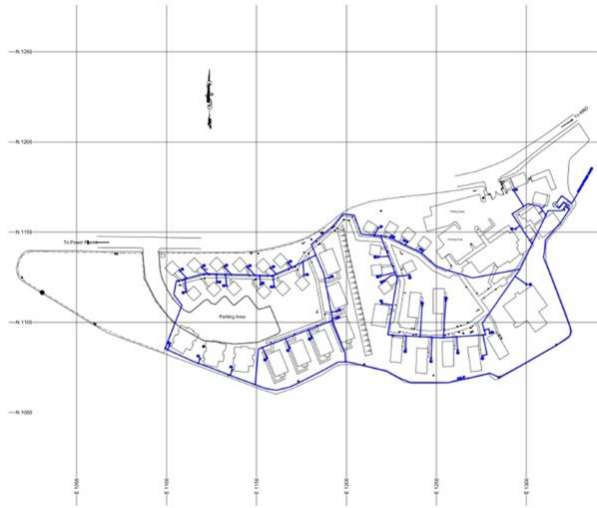
Sesuai Kurva performa pompa Torishima tipe 32-125 maka NPSHr yang didapat adalah 1,5 m.

Dikarenakan NPSHa (6,798 m) > NPSHr (1,5 m) sehingga pompa tersebut dapat bekerja tanpa mengalami kavitasi.

Rancangan Jalur Pipa Distribusi

Dalam penelitian ini dilakukan perancangan jalur pipa distribusi air bersih dengan data berikut:

- Bahan pipa : PVC seri S. 6,3
- Kekasaran relatif pipa (C) : 150 (*Hazen Williams*)
- Fluida yang bekerja : air
- Jumlah loop : 5 loop (lihat pada Gambar 4.8)
- Jumlah sumber air masuk : 1 sumber
- Jumlah titik air keluar : 42 keluaran



Gambar 4.8. General Piping Water Distribution Layout Analisis Dengan Software Epanet 2.0 Verifikasi Software dengan Metode Hardy Cross

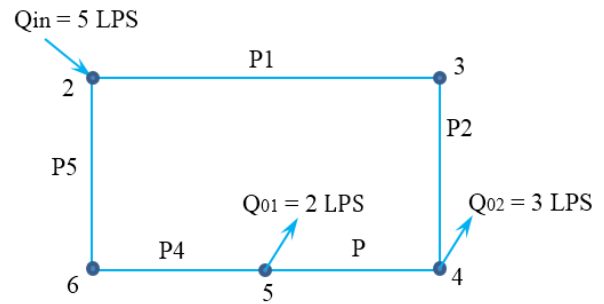
Sebelum analisis dan simulasi jaringan pipa untuk distribusi air Villa Wayang Windu, maka perlu dipastikan atau diverifikasi bahwa perhitungan yang disimulasikan oleh software tersebut benar. Salah satunya yaitu membandingkannya dengan hitungan manual, dalam perancangan ini akan dilakukan dengan metode *Hardy Cross*.

Hal pertama yang dilakukan adalah membuat *modeling* dengan jaringan *loop* sederhana menggunakan *software Epanet 2.0*, dimana suatu jaringan pipa memiliki aliran masuk 5 LPS serta 2 aliran keluar masing-masing 2 LPS dan 3 LPS, untuk lebih lengkapnya lihat data di bawah ini:

- Bahan pipa : PVC seri S. 6,3
- Panjang dan diameter pipa : Tabel 4.8
- Kekasaran relatif pipa (C) : 150 (*Hazen Williams*)
- Fluida yang bekerja : air
- Jumlah loop : 5 loop (lihat pada Gambar 4.9)
- Jumlah sumber air masuk : 1 sumber
- Jumlah titik air keluar : 2 keluaran

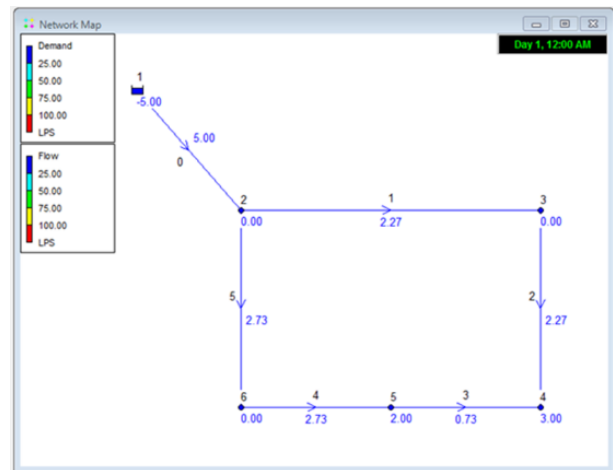
Tabel 4.9. Parameter Pipa Sempel

Pipa	Panjang m	Di m	Kekasaran
1	30	0.077	150
2	25	0.077	150
3	15	0.077	150
4	18	0.077	150
5	20	0.077	150



Gambar 4.9. Jaringan Pipa Sempel

Maka setelah dilakukan *modeling*, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.11 untuk menampilkan arah laju lairan atau debit pada jaringan dan Tabel 4.9 untuk menunjukkan besar debit yang terjadi pada setiap pipa.



Gambar 4.10. Distribusi Arah Laju Aliran Pipa Epanet 2.0

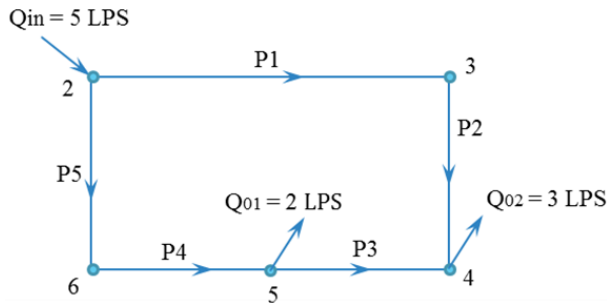
Tabel 4.10. Debit Hasil Proses Perhitungan Epanet 2.0

Link ID	Length m	Diameter mm	Flow LPS
Pipe 1	30	77	2.27
Pipe 2	25	77	2.27
Pipe 3	15	77	0.73
Pipe 4	18	77	2.73
Pipe 5	20	77	2.73

Setelah melakukan perhitungan menggunakan *software*, lalu selanjutnya hasil diatas diverifikasi menggunakan metode *Hardy Cross*. Hasil perhitungan *software* dikatakan sama atau mendekati perhitungan manual jika koreksi ketelitian yang didapat hasil perhitungan mencapai $(\Delta L) \approx 10^{-5}$.

Dalam hal ini, pertama dilakukan asumsi untuk arah aliran pada *loop* dan dibuat sama dengan hasil *software*, dapat dilihat seperti Gambar 4.12, untuk asumsi debit aliran air yang mengalir pada setiap

pipa juga dibuat sama dengan hasil *software*, seperti dalam Tabel 4.10.

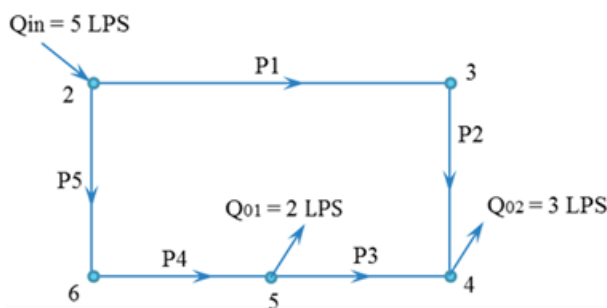


Gambar 4.11. Arah dan Debit Laju Aliran Dalam Jaringan Pipa

Tabel 4.11. Debit Laju Aliran Dalam Jaringan Pipa

Pipa	Panjang (m)	Di (m)	Kekasaran Pipa	Q Software LPS
1	30	0.077	150	2.27
2	25	0.077	150	2.27
3	15	0.077	150	0.73
4	18	0.077	150	2.73
5	20	0.077	150	2.73

Dari hasil perhitungan, asumsi arah aliran pipa 1 sampai 5 pada *loop* tidak terjadi perubahan seperti Gambar 4.12, dan hasil akhir proses perhitungan koreksi ketelitian (ΔL) yang didapat sebesar $7.05E-5$ LPS. Untuk perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4.11.



Gambar 4.12. Hasil Akhir Perhitungan Arah Debit
Tabel 4.12. Hasil Proses Perhitungan *Hardy Cross*

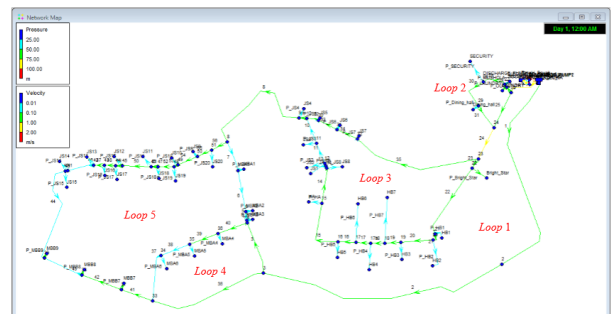
Pipa	Q Software LPS	$\Sigma(\pm)KQ^n$	ΔL Koreksi Ketelitian	Q Baru LPS
1	2.27	-0.00103	7.05E-05	2.27007
2	2.27			2.27007
3	0.73			0.72993

Pipa	Q Software LPS	$\Sigma(\pm)KQ^n$	ΔL Koreksi Ketelitian	Q Baru LPS
4	2.73			2.72993
5	2.73			2.72993

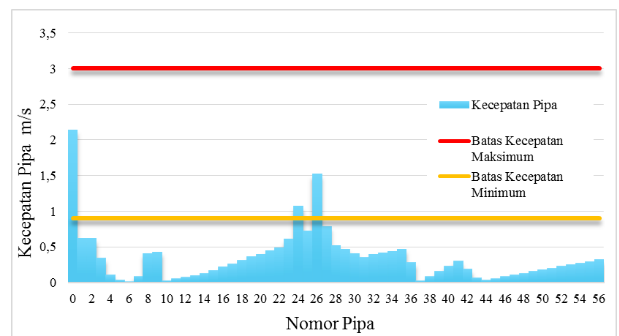
Perhitungan dan modeling jaringan pipa distribusi air Villa Wayang Windu

Setelah dilakukan perhitungan dan modeling jaringan pipa distribusi air Villa Wayang Windu dengan *Epanet 2.0*, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.14 untuk menampilkan arah laju aliran dan kecepatan pada jaringan.

Secara umum hasil dari perhitungan dengan *Epanet 2.0* pada penyaluran air dapat dilakukan dengan baik, dimana air dapat dialirkan ke semua *junction* dengan debit yang telah ditentukan sesuai perhitungan, tanpa adanya *negatif pressure* saat program dieksekusi. Akan tetapi ada beberapa kriteria yang masih harus dipenuhi. Mengacu pada standar API RP 14E [1] dimana adanya batas kecepatan yang harus terpenuhi yaitu minimum 0,9 m/s dan maksimum 3 m/s.



Gambar 4.13. Hasil Analisis *Software Epanet 2.0*.



Gambar 4.14. Grafik Distribusi Kecepatan Pada Setiap Pipa

Pada Gambar 4.14 dapat dilihat grafik kecepatan pada setiap pipa hasil perhitungan *Epanet 2.0*. Dari grafik tersebut terlihat bahwa kecepatan tertinggi diperoleh pada nomor pipa 0 yang berada sebelum masuk jaringan *loop*, dimana

besarnya debit yang mengalir belum terbagi, sedangkan rata-rata untuk pipa lainnya memiliki kecepatan di bawah standar API RP 14E, walaupun sudah mamakai ukuran pipa paling kecil yaitu 16 mm (NPS) atau setara 1/2" (DN). Hal ini terjadi akibat kecilnya debit yang mengalir setelah terbagi dalam sistem jaringan *loop*, dan dikhawatirkan terjadinya pengendapan kotoran pada pipa. Maka dari itu untuk menaikkan kecepatan agar mencapai kecepatan minimal, maka dapat dilakukan dengan cara menaikkan tinggi tangki atas, atau menambah pompa setelah tangki atas.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan berdasarkan metode jumlah penghuni, besarnya kebutuhan air bersih pada Villa Permanen Wayang Windu sebesar **42,179 m³/d**.
2. Volume minimum tangki bawah yang dapat melayani seluruh kebutuhan air bersih Villa Permanen Wayang Windu adalah **42,179 m³**.
3. Volume minimum tangki atas yang dibutuhkan adalah **1,757 m³**.
4. Pompa yang dibutuhkan untuk mentransfer air dari tangki bawah ke tangki atas setidaknya memiliki spesifikasi sebagai berikut:
 - Kapasitas: 0,162 m³/min

DAFTAR PUSTAKA

- [1] API RP 14E (1981). *Recommended Practice for Design and Installation of Offshore Production Platform Piping Systems*, American Petroleum Institute Recommended Practice.
- [2] Badan Standardisasi Nasional (2005). *SNI 03-7065-2005 Tata Cara Perencanaan Sistem Plumbing*. Jakarta.
- [3] Globaltanks. (2019). "45,000L Tank." Retrieved 21 January, 2019, from <https://www.globaltanks.com.au/product/45000ltr-tank-2/>.
- [4] Magma (2006). *WWM-CE-86-303 Permanent Village Layout*. Pangalengan.
- [5] Moran, M. J. and H. N. Shapiro (2004). *Termodinamika Teknik*. Jakarta, Erlangga.
- [6] Noerbambang, S. M. and T. Morimura (1986). *Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plumbing*. Jakarta, PT. Pradnya Paramita.
- [7] Pane, A. H. *Analisa Jaringan Pipa Distribusi Air dengan Metode Hardy-Cross*. Medan, Jurnal Teknik Mesin USU.
- [8] Rossman, L. A. (2000). *EPANET 2 Users Manual (Versi Bahasa Indonesia)*. Cincinnati, Ekamitra Engineering.
- [9] Sularso, H. T. (2004). *Pompa dan Kompresor*. Jakarta, PT. Pradnya Paramita.
- [10] TangkiAirPenguin. (2019). "TB 200 – Kapasitas 2000 Liter." Retrieved 21 January, 2019, from <https://tangkiairpenguin.com/product/tb-200/>.

- Head: 16,766 m

- Daya Motor: 1,5 kW

5. Setelah melakukan verifikasi software dengan metode *Hardy Cross*, didapatkan hasil yang hampir sama pada setiap debit pipa.
6. Berdasarkan hasil simulasi jaringan pipa yang telah dirancang, jaringan tersebut mampu melayani kebutuhan air bersih setiap bangunan sesuai perhitungan.

Saran

1. Untuk menaikkan kecepatan agar mencapai kecepatan minimal yang memenuhi standar API RP 14E, maka dapat dilakukan dengan cara menaikkan tinggi tangki atas, atau menambah pompa setelah tangki atas.
2. Membuat sistem penyediaan air yang berbeda, salah satunya dengan sistem sambungan langsung dimana air dari tangki bawah langsung didistribusikan ke setiap bangunan menggunakan pompa, tanpa menggunakan tangki atas.
3. Memperbaiki metodologi yang telah dibuat dalam melakukan iterasi setelah memverifikasi hasil dengan standar yang digunakan.

- [11] Torishima *Centrifugal End Suction Volute Pump - CAL-CAR*.
- [12] Ubaedilah, U. (2016). *Analisa Kebutuhan Jenis dan Spesifikasi Pompa untuk Suplai Air Bersih di Gedung Kantin Berantai 3 PT Astra Daihatsu Motor*. Jakarta, Jurnal Teknik Mesin Mercuri Buana.
- [13] Vililon *uPVC Pipes & Fitting SNI*. Jakarta, PT. Rusli Vililon Sakti.