



Belakang

BAB I PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu kebutuhan pokok kehidupan manusia dan banyak makhluk hidup yang lainnya, pada kondisi saat ini banyak musibah menimpa kita khususnya masalah terkait air. Pengelolaan air yang tidak tepat dapat berefek langsung kepada keberlangsungan makhluk hidup seperti yang telah dijelaskan bahwa air adalah salah satu dari kebutuhan pokok manusia. Dampak dari tidak terpenuhinya kebutuhan tersebut ialah kesulitan dalam menjalani aktivitas dalam kehidupan karena tidak bisa dipungkiri bahwasanya kita tak dapat terlepas dari air, maka di butuhkancara untuk mengelola air yang tepat mulai dari proses pengambilan dari sumber air , penjernihan, hingga distribusi kepada masyarakat agar bisa digunakan dengan sebijak mungkin (Soemarwoto, 2000)(Soemarwoto, 2000)

Kebutuhan air bersih merupakan salah satu kebutuhan vital bagi masyarakat yang terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan perkembangan wilayah. Sistem distribusi air bersih yang efektif sangat penting untuk memenuhi kebutuhan tersebut, terutama di daerah seperti Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Namun, seringkali sistem jaringan pipa yang ada tidak berfungsi secara optimal, yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti kebocoran, desain yang tidak efisien, dan kurangnya pemeliharaan. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Sulawesi Selatan, akses terhadap air bersih di daerah pedesaan masih rendah, dengan hanya sekitar 60% penduduk yang memiliki akses langsung ke sumber air bersih yang layak (BPS, 2022). Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk melakukan evaluasi dan perbaikan terhadap sistem jaringan pipa yang ada. Salah satu alat yang dapat digunakan untuk menganalisis dan mengevaluasi sistem jaringan pipa adalah aplikasi EPANET. EPANET adalah perangkat lunak yang dirancang untuk menganalisis sistem distribusi air, termasuk perhitungan aliran, tekanan, dan kualitas air dalam jaringan pipa. Dengan menggunakan EPANET, para perencana dan insinyur dapat mengidentifikasi masalah dalam sistem jaringan pipa dan merancang solusi yang lebih efisien. Dalam konteks Kecamatan Bontomarannu, implementasi aplikasi EPANET dapat membantu dalam mengidentifikasi titik-titik kritis dalam jaringan pipa, seperti lokasi kebocoran atau area dengan tekanan rendah. Dengan data yang akurat dan analisis yang tepat, diharapkan dapat dihasilkan rekomendasi yang dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem penyediaan air bersih di daerah tersebut.

Laporan audit kinerja PDAM Gowa tahun 2021-2022 menunjukkan tantangan teknis seperti kebocoran pipa dan tekanan air yang belum merata masih menjadi masalah utama dalam distribusi air bersih di wilayah cakupan



masuk Bontomarannu (Laporan Audit NUWSP, 2022). Laporan Audit AM Tirta Jeneberang Kabupaten Gowa, NUWSP, 2022

han utama yang tercatat meliputi kebocoran pipa akibat faktor lingkungan seperti akar pohon, kerusakan fisik pipa, dan hambatan sosial terkait penempatan pipa di tanah warga, yang mengakibatkan gangguan suplai air dan kebutuhan perbaikan berkala (UKL-UPL PDAM Gowa, 2020). Dokumen UKL-UPL Pembangunan IPA Kapasitas 100 L/detik di Kecamatan Bontomarannu, (PDAM Gowa, 2020)

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup terkait pengelolaan sumber daya alam dan kualitas air. Hal ini menjadi dasar pengintegrasian pengelolaan air dalam pembangunan berkelanjutan di Gowa terkhususnya Bontorannu. Namun, dalam praktiknya, penerapan regulasi tersebut masih menghadapi berbagai kendala di lapangan. (Pokhrel, 2024)

Dan pada kesempatan kali ini skripsi ini akan membahas terkait evaluasi distribusi jaringan pipa melewati aplikasi EPANET yang mana akhirnya kita bisa mengetahui apakah distribusi air di wilayah yang di teliti apakah sudah optimal atau masih memerlukan revisi agar air bisa terdistribusi dengan seoptimal mungkin sehingga dapat memenuhi kebutuhan masyarakat pada wilayah penelitian terkhususnya di wilayah Bontomarannu Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan. Berdasarkan hal tersebut diperlukan suatu survey dan simulasi untuk mengetahui jaringan distribusi seperti apa yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat sekitar. Oleh karena itu perlu mengevaluasi distribusi jaringan pipa air bersih dengan judul : **“Implementasi Aplikasi EPANET Dalam Evaluasi Jaringan Pipa Kecamatan Bontomarannu”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan yang telah dikemukakan pada latar belakang, maka beberapa masalah yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana distribusi jaringan pipa air bersih PDAM Bontomarannu.
2. Apakah jaringan pipa Bontomarannu telah optimal dalam memenuhi kebutuhan air masyarakat

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kondisi eksisting dalam jaringan distribusi pipa air bersih di PDAM Bontomarannu.
2. Melakukan evaluasi terhadap performa jaringan distribusi air menggunakan simulasi aplikasi EPANET.



rikan rekomendasi teknis berdasarkan hasil evaluasi untuk katkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis: Memberikan kontribusi ilmiah dalam penerapan aplikasi EPANET sebagai alat bantu mengevaluasi jaringan pipa distribusi air bersih.
2. Manfaat Praktis: Menjadi acuan atau pertimbangan teknis bagi instansi pengelola air bersih (seperti PDAM atau Dinas PU) dalam melakukan analisis dan perencanaan perbaikan sistem jaringan pipa distribusi air bersih.
3. Manfaat Sosial: Meningkatkan kualitas pelayanan distribusi air bersih kepada masyarakat pelanggan PDAM Bontomarannu melalui rekomendasi perbaikan jaringan.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Agar penelitian ini lebih fokus dan terarah pada tujuan penelitian yang ingin dicapai, maka ruang lingkup penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian hanya dilakukan pada sistem jaringan pipa distribusi air bersih di PDAM Bontomarannu.
2. Pemodelan dan simulasi hanya dilakukan menggunakan perangkat lunak EPANET.
3. Data yang digunakan bersumber dari PDAM Bontomarannu berupa layout jaringan pipa, diameter pipa, panjang pipa, elevasi, dan titik-titik sambungan (junction) dan Standar Teknis yang berlaku. berupa layout pipa, diameter, panjang, elevasi, dan titik-titik sambungan (junction).
4. Mengevaluasi besarnya tekanan, kecepatan aliran, dan debit pada jaringan pipa.
5. Penentuan elevasi dan panjang pipa menggunakan aplikasi software Google Earth

1.6 Teori

1.6.1 Sistem distribusi Air

Sistem distribusi air merupakan adalah suatu sistem atau jaringan yang dirancang untuk menyalurkan air dari sumber (misalnya bendungan, sungai, mata air, atau sumur) ke lokasi pengguna akhir (rumah tangga, industri, pertanian, dll.) dengan cara yang efisien dan sesuai kebutuhan. Sistem yang



disini ialah bagaimana air yang telah di direncanakan bisa sampai dengan kebutuhan yang telah di rencanakan secara optimal atau efisien baik atau dari besarnya tenaga yang telah dikeluarkan, tetapi diluar dari itu standar tertutup seperti pipa yang biasanya digunakan dalam pendistribusian air bersih pada PDAM pasti memiliki kehilangan energi akibat gesekan , hal ini disebabkan karena dinding pipa memiliki kekasaran , kehilangan energi ini menyebabkan air yang sampai ke pelanggan tidak optimal atau tidak sesuai dari volume dan debit yang di pompa dari sumber air yang biasanya disebut dengan tangki air atau *reservoir* ada juga beberapa hal lain yang menyebabkan kehilangan air selain kekasaran pipa contohnya seperti adanya sambungan atau belokan pada pipa , bisa juga terjadi karena kerusakan pada pipa seperti kebocoran yang mana seperti kita tahu pipa sendiri memiliki batas penggunaan efisien , tekanan diatas tanah juga dapat menyebabkan kerusakan pada pipa itu sendiri (Afriyanda et al., 2018)

Tabel 1. Standar Parameter Sistem Air Bersih

Parameter	Satuan	Standar/Regulasi	Keterangan
Tekanan minimum	mH ₂ O (meter air)	≥ 10 m (≈ 1 bar) – SNI 7509:2011	Tekanan pada jam puncak di ujung jaringan
Tekanan maksimum	mH ₂ O	≤ 80 m (≈ 8 bar) – SNI 7509:2011	Untuk mencegah kerusakan pipa dan sambungan
Tekanan ideal pelayanan	mH ₂ O	10 – 30 m (≈ 1–3 bar) – SNI 7509:2011	Tekanan rata-rata pelayanan yang nyaman
Kecepatan aliran	m/s	0,3 – 2,5 m/s – SNI 7509:2011	< 0,3 m/s berpotensi sedimentasi, > 2,5 m/s berisiko erosi pipa
Kehilangan energi (hf)	m/km	< 10 m/km (umum dalam desain hidraulik)	Headloss maksimum agar efisiensi jaringan terjaga
Kontinuitas pelayanan	jam/hari	24 jam – Permen PUPR No. 27/2016	Layanan penuh sepanjang waktu
Sisa klorin	mg/L	0,2 – 0,5 mg/L – Permenkes No. 492/2010, WHO	Untuk menjamin keamanan mikrobiologis
Kekeruhan	NTU	≤ 5 NTU – Permenkes No. 492/2010, WHO	Air harus jernih secara visual
Non-Revenue Water (NRW)	%	≤ 25% – Permen PUPR No. 27/2016; AWWA < 20%	Indikator efisiensi, mencerminkan tingkat



3NI 7509:2011 dan Permen PUPR)

kebocoran &
ketidakterukuran

1.6.2 Kehilangan Energi Pada Sistem Perpipaan

(Soemarno. S, 2005) Kehilangan energi akibat gesekan merupakan berkurangnya tekanan yang disebabkan oleh dua hal yaitu akibat gesekan pada dinding pipa dan juga pada sambungan, belokan, juga kerusakan pada pipa itu sendiri. Kehilangan energi akibat gesekan biasanya disebut sebagai kehilangan energi mayor (*mayor loss*) sementara kehilangan energi akibat belokan dan sambungan biasanya disebut sebagai (*minor loss*)

Dalam sistem distribusi air bertekanan (perpipaan), kehilangan energi (*head loss*) terutama disebabkan oleh gesekan antara air dan dinding pipa. Rumus yang digunakan adalah rumus Darcy-Weisbach atau Hazen-Williams sebagai berikut :

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

di mana

hf merupakan kehilangan energi (m),

f = factor gesekan ,

L = panjang pipa (m),

D = diameter pipa (m),

v = kecepatan aliran (m/s),

dan g adalah percepatan gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Faktor gesekan f dapat diperoleh dari diagram Moody.

Sementara persamaan Hazen-Williams dirumuskan sebagai berikut :

$$hf = 10.67 \cdot \left(\frac{L}{C^{1.85} \cdot D^{4.87}} \right) \cdot Q^{1.85}$$

di mana :

hf = kehilangan energi (m),

L = panjang pipa (m),

D = diameter pipa (m),

Q = debit aliran (m^3),

dan C adalah koefisien kekasaran pada pipa.

1.6.3 Tekanan dan Debit Aliran

Tekanan dalam perpipaan mempunyai peranan penting, tekanan bertugas untuk mendorong air dari sumber air menuju ke tempat yang ingin di



an. Debit (Q) merupakan volume aliran air per satuan waktu yang dinyatakan dalam $m^3/detik$ atau liter/detik. Keseimbangan antara tekanan dan debit sangat penting untuk menjaga kontinuitas aliran dan memenuhi kebutuhan pelanggan. Tekanan dan debit inilah yang berkurang akibat dari kehilangan energi yang telah dijelaskan di atas apabila tidak diatasi tekanan dan debit yang sampai ke pelanggan akan terus berkurang maka dari itu diperlukan evaluasi dari sistem jaringan perpipaan. (Soemarno. S, 2005)

Tabel 2. Contoh Hasil Simulasi Tekanan dan Debit Aliran (Sumber : EPANET)

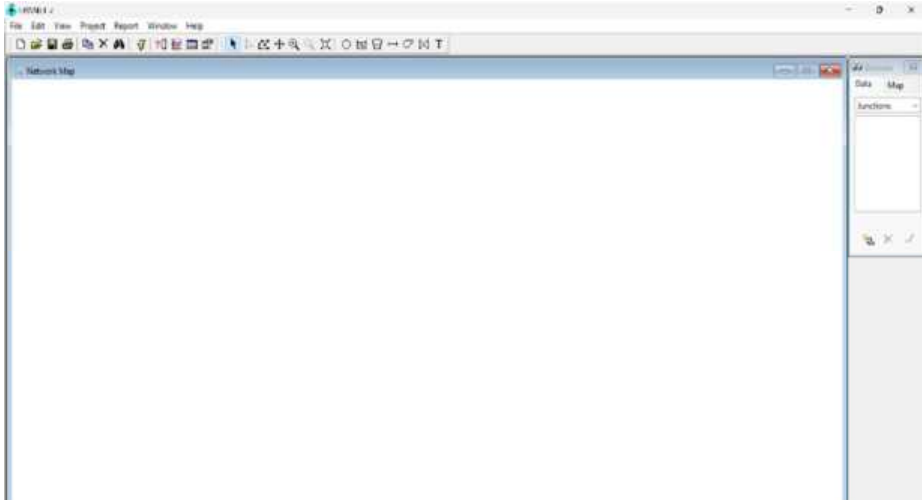
Node/Pipa	Lokasi/Identitas	Tekanan (mH ₂ O)	Debit Aliran (L/s)	Standar Tekanan (SNI 7509:2011)	Keterangan
J-01	Ujung Jaringan A	8,5	2,1	≥ 10 mH ₂ O	Tekanan kurang dari standar
J-02	Perumahan Blok B	12,3	3,5	10–30 mH ₂ O	Memenuhi standar
J-03	Kawasan Komersial	28,7	4,2	10–30 mH ₂ O	Tekanan mendekati batas atas
J-04	Perumahan Blok C	9,8	1,8	≥ 10 mH ₂ O	Tekanan sedikit di bawah standar
J-05	Dekat Reservoir	32,5	5,7	≤ 30 mH ₂ O	Tekanan terlalu tinggi
P-01	Pipa Utama A	–	12,4	Debit sesuai kapasitas desain	Normal
P-02	Pipa Cabang B	–	3,2	Debit sesuai kapasitas desain	Normal

1.6.4 EPANET (Environmental Protection Agency Network Evaluation Tool)

EPANET adalah perangkat lunak berbasis Windows yang dikembangkan oleh United States Environmental Protection Agency (EPA) untuk memodelkan jaringan distribusi air. EPANET mampu mensimulasikan aliran air, tekanan,



aliran, dan distribusi kualitas air dalam sistem jaringan pipa secara . Dengan bantuan perangkat lunak ini, kondisi jaringan pipa dapat secara rinci untuk mengetahui potensi masalah dan skenario perbaikannya. Aplikasi ini menggunakan perhitungan pendekatan hidraulik sebagai perhitungannya. (Alac, 2008)



Gambar 1. Tampilan Awal Aplikasi EPANET (Sumber : EPANET 2.2)

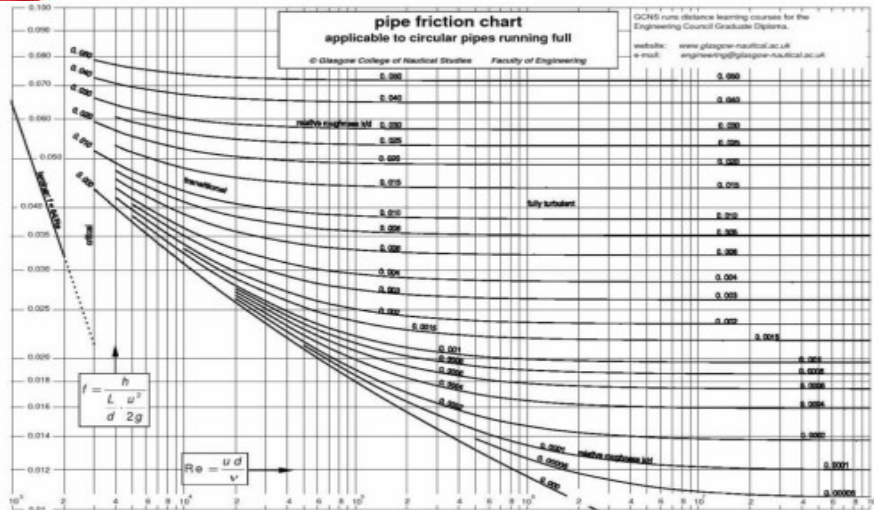
1.6.5 Grafik Moody (*Moody Diagram*)

Grafik Moody merupakan alat bantu yang digunakan dalam bidang hidraulika untuk menentukan koefisien gesekan (f) pada aliran dalam pipa bertekanan, khususnya dalam perhitungan kehilangan energi menggunakan persamaan *Darcy-Weisbach*. Grafik ini menggambarkan hubungan antara angka Reynolds (Re), kekasaran relatif pipa (ϵ/D), dan koefisien gesekan (f) dalam berbagai kondisi aliran, baik laminar maupun turbulen. Pada sumbu horizontal grafik disajikan angka Reynolds dalam skala logaritmik, yang menunjukkan jenis aliran mulai dari laminar ($Re < 2.000$), transisi ($2.000 < Re < 4.000$), hingga turbulen ($Re > 4.000$). Sedangkan pada sumbu vertikal ditampilkan nilai koefisien gesekan (f), yang nilainya dipengaruhi oleh angka Reynolds serta kekasaran relatif permukaan pipa. Untuk aliran laminar, nilai f dapat dihitung secara langsung menggunakan rumus.

Namun, untuk aliran turbulen, nilai f sangat tergantung pada kondisi kekasaran pipa, sehingga memerlukan grafik atau metode iteratif seperti persamaan Colebrook-White. Dengan menggunakan grafik Moody, insinyur dapat dengan cepat memperkirakan nilai koefisien gesekan berdasarkan



ik aliran dan kondisi pipa yang digunakan, sehingga memudahkan luasi dan perancangan sistem perpipaan.(Kalliadasis et al., 2012)



Gambar 2. Contoh Grafik Moody (Sumber : Hidraulika I,Bambang Triatmojo)

Dalam menggambar grafik moody digunakan dua perhitungan diantara lain, perhitungan bilangan Reynolds (Re), dan menghitung kekasaran relatif (ϵ/D). Kedua perhitungan diatas dapat dirumuskan sebagai berikut:

Rumus menghitung bilangan Reynolds :

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \text{ Atau } Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Dimana :

v = kecepatan aliran (m/s)

D = diameter pipa (m)

ν = viskositas kinematik air (m^2/s)

Dan ρ = merupakan massa jenis air (kg/m^3)

Rumus menghitung Kekasaran relatif :

$$\frac{\epsilon}{D}$$

Dimana ;

ϵ = kekasaran mutlak pipa (m) , berdasarkan materialnya

Dan D = Diameter Pipa (m) .



hidraulika Pipa

Hidraulika pipa adalah cabang ilmu mekanika fluida yang mempelajari aliran air di dalam pipa. Prinsip dasar yang digunakan adalah hukum kontinuitas, persamaan Bernoulli, serta hukum kehilangan energi.

Debit aliran (Q) dipengaruhi oleh luas penampang dan kecepatan aliran (V), dengan hubungan $Q = A \times V$. (Soemarno. S, 2005)

Kehilangan energi dalam pipa dibagi menjadi dua, yaitu *major loss* akibat gesekan sepanjang pipa dan *minor loss* akibat sambungan, belokan, katup, atau perlengkapan lain. Beberapa rumus yang umum digunakan untuk menghitung headloss adalah persamaan Darcy–Weisbach dan Hazen–Williams. Pemahaman tentang hidraulika pipa menjadi sangat penting dalam menganalisis distribusi air, karena menentukan efisiensi dan kualitas pelayanan sistem distribusi. (Soemarwoto, 2000)

1.6.7 Parameter kinerja jaringan

1.6.7.1 Tekanan dalam pipa

Merupakan salah satu parameter utama yang menentukan keberhasilan suatu sistem distribusi air bersih. Tekanan dapat dipahami sebagai gaya yang bekerja pada setiap satuan luas penampang fluida yang mengalir di dalam pipa. Dalam konteks hidraulika, tekanan ini muncul akibat pengaruh gravitasi, perbedaan elevasi, dan adanya pergerakan aliran di dalam jaringan pipa. Tekanan yang tersedia pada jaringan akan mempengaruhi apakah air dapat sampai kepada pelanggan dengan debit yang cukup dan kualitas yang sesuai standar pelayanan. Secara umum, tekanan di dalam sistem perpipaan dapat dibagi menjadi tekanan statis, tekanan dinamis, dan tekanan total. Tekanan statis adalah tekanan yang diukur ketika aliran air berada dalam kondisi diam, atau ketika tidak ada pergerakan aliran. Besarnya tekanan ini sangat dipengaruhi oleh ketinggian kolom air atau elevasi dari permukaan air terhadap titik pengukuran. Tekanan dinamis adalah tekanan yang timbul akibat adanya kecepatan aliran di dalam pipa. (PermenPUPR27-2016, n.d.)

Sementara itu, tekanan total merupakan gabungan dari tekanan statis, tekanan akibat kecepatan aliran, serta tekanan akibat perbedaan elevasi, sebagaimana dijelaskan melalui persamaan Bernoulli. Dengan demikian, tekanan yang dialami di setiap titik pada jaringan pipa merupakan hasil interaksi dari berbagai faktor tersebut. Tekanan dalam pipa sangat dipengaruhi oleh beberapa hal. Faktor elevasi merupakan salah satu yang paling dominan. Semakin tinggi posisi pelanggan dibandingkan dengan reservoir atau menara air, maka tekanan yang diterima akan semakin rendah. Selain itu, dimensi pipa juga berpengaruh, di mana pipa dengan diameter kecil cenderung menimbulkan kehilangan energi yang lebih besar, sehingga tekanan di ujung jaringan akan



Faktor lain adalah panjang pipa yang semakin besar, kekasaran pipa yang dapat bertambah seiring usia pemakaian, serta kecepatan aliran yang tidak seimbang. Keberadaan sambungan, belokan, katup, dan peralatan lainnya juga menambah kehilangan tekanan dalam sistem. (PermenPUPR27-2016, n.d.)

Dalam perencanaan jaringan distribusi air, terdapat standar yang harus dipenuhi. Menurut SNI 7509:2011 tentang sistem penyediaan air minum, tekanan minimum yang harus tersedia di jaringan distribusi adalah sekitar 10 meter kolom air atau setara dengan 1 bar, terutama pada saat jam puncak pemakaian. Tekanan ideal untuk pelayanan umumnya berada dalam rentang 10 hingga 30 meter kolom air (1–3 bar). Sedangkan batas maksimum tekanan yang diizinkan adalah sekitar 80 meter kolom air atau 8 bar. Tekanan yang terlalu rendah akan mengakibatkan air tidak mampu mencapai pelanggan, bahkan dapat menyebabkan terjadinya intrusi kontaminan dari luar jaringan melalui retakan atau kebocoran. Sebaliknya, tekanan yang terlalu tinggi dapat memperbesar potensi kebocoran, mempercepat kerusakan pada sambungan, dan mengurangi umur teknis jaringan pipa. (SNI-2011-750-Reservoir,.)

Oleh karena itu, pengendalian tekanan dalam sistem distribusi menjadi sangat penting. Beberapa langkah yang umum digunakan antara lain adalah dengan membangun reservoir pada beberapa zona distribusi, memasang katup pengatur tekanan atau *pressure reducing valve (PRV)* untuk menurunkan tekanan berlebih, menggunakan pompa untuk meningkatkan tekanan di daerah dengan elevasi tinggi atau jauh dari sumber, serta melakukan pembagian jaringan menjadi beberapa zona pelayanan untuk menyeimbangkan tekanan antarwilayah. (Pekerjaan Umum (Public Works), 2007)

Dengan demikian, tekanan dalam pipa dapat dikatakan sebagai indikator vital yang mencerminkan kemampuan suatu jaringan distribusi dalam memberikan pelayanan yang baik. Evaluasi tekanan dengan bantuan perangkat lunak seperti EPANET sangat bermanfaat karena dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai titik-titik kritis di dalam jaringan. Dari hasil analisis tersebut, perencana maupun operator dapat menyusun strategi teknis yang tepat untuk mengatasi masalah tekanan, baik yang terlalu rendah maupun yang terlalu tinggi, sehingga kualitas pelayanan air bersih kepada masyarakat dapat terjamin.

Tekanan (P): indikator kemampuan dorong hingga ke pelanggan. Terlalu rendah → keluhan layanan & potensi intrusi kontaminan (tekanan negatif lokal). Terlalu tinggi → kebocoran meningkat, umur pipa menurun. (EPANET, 2020)

1.6.7.2 Kecepatan aliran dalam pipa

merupakan salah satu parameter penting dalam sistem distribusi air bersih karena berhubungan langsung dengan kontinuitas, efisiensi, dan keamanan pengaliran. Kecepatan aliran dapat diartikan sebagai jarak yang ditempuh oleh partikel fluida per satuan waktu di dalam pipa. Secara matematis, kecepatan aliran dihitung dengan membagi debit aliran terhadap luas



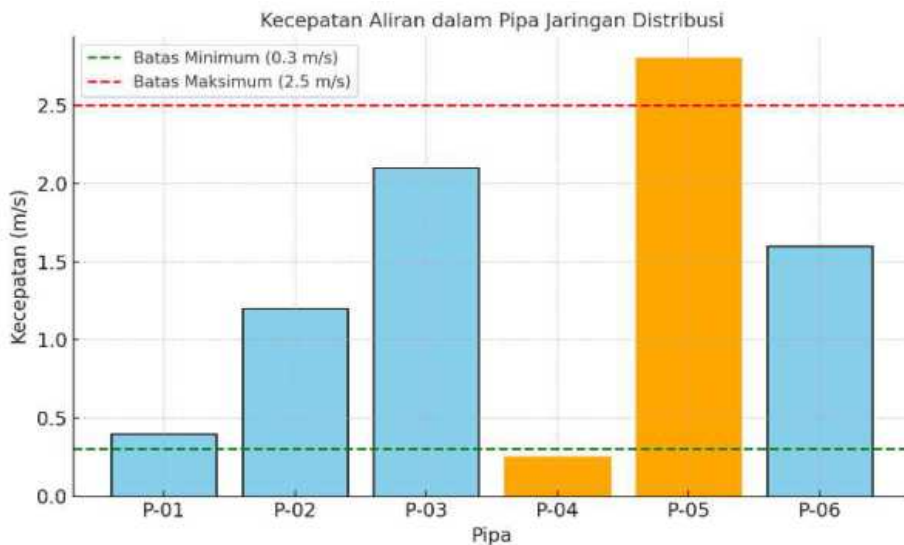
g pipa, atau ditulis sebagai $V=Q/A$ $V = Q/A$ $V=Q/A$, di mana V adalah aliran (m/s), Q adalah debit aliran (m^3/s), dan A adalah luas g pipa (m^2). Dalam sistem distribusi air, kecepatan aliran tidak hanya sebagai indikator kelancaran pengaliran, tetapi juga mempengaruhi aspek teknis lain seperti kehilangan energi (headloss), tekanan, dan kemungkinan terjadinya sedimentasi atau erosi di dalam pipa. Kecepatan aliran yang terlalu rendah akan menyebabkan partikel padatan atau endapan cenderung mengendap di dasar pipa, sehingga memperkecil kapasitas hidraulis dan menurunkan kualitas air akibat potensi pertumbuhan mikroorganisme. Sebaliknya, kecepatan aliran yang terlalu tinggi dapat menimbulkan headloss yang besar, meningkatkan tekanan dinamis, serta berpotensi menyebabkan erosi dinding pipa maupun kerusakan pada sambungan pipa. (7509-SNI-2011-750-Reservoir, n.d.)

Oleh sebab itu, terdapat standar mengenai batas kecepatan aliran yang disarankan. Menurut pedoman perencanaan jaringan distribusi air bersih, kecepatan aliran dalam pipa distribusi sebaiknya berada pada rentang 0,3 m/s hingga 2,5 m/s. Kecepatan minimum 0,3 m/s dianjurkan untuk mencegah terjadinya sedimentasi di dalam pipa, sementara kecepatan maksimum sekitar 2,5 m/s ditetapkan untuk menghindari kerusakan fisik pada jaringan, mengurangi risiko kebocoran, dan menekan kehilangan energi yang berlebihan. Pada kondisi tertentu, misalnya dalam pipa transmisi bertekanan tinggi, kecepatan aliran dapat ditoleransi hingga 3 m/s, namun tetap harus dikendalikan dengan cermat agar tidak menimbulkan dampak negatif jangka panjang. (7509-SNI-2011-750-Reservoir, n.d.)

Kecepatan aliran dalam pipa juga sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya debit air yang dialirkan, diameter pipa, kondisi hidraulis jaringan, serta kehilangan energi akibat gesekan dan perlengkapan pipa. Semakin besar debit yang dialirkan melalui pipa dengan diameter tetap, maka kecepatan alirannya akan semakin tinggi. Sebaliknya, pipa dengan diameter besar dapat menurunkan kecepatan aliran meskipun debit air yang masuk cukup besar. Selain itu, kondisi kekasaran dinding pipa turut berpengaruh karena dapat menimbulkan turbulensi aliran yang meningkatkan headloss dan memengaruhi distribusi kecepatan di dalam penampang pipa. Dalam praktiknya, pengendalian kecepatan aliran dilakukan melalui perencanaan dan evaluasi jaringan yang baik, antara lain dengan pemilihan diameter pipa yang sesuai, penentuan debit maksimum dan minimum yang dapat diterima jaringan, serta penggunaan perangkat kontrol seperti katup atau pompa. Analisis hidraulika menggunakan perangkat lunak seperti EPANET sangat membantu dalam memetakan kondisi kecepatan aliran di seluruh jaringan, sehingga dapat diketahui apakah kecepatan aliran berada dalam batas standar yang diizinkan atau tidak. (7509-SNI-2011-750-Reservoir, n.d.)



gan demikian, kecepatan aliran dalam pipa bukan hanya sekadar draulis, tetapi juga menjadi indikator penting dalam menjaga kinerja distribusi air bersih. Kecepatan yang sesuai standar akan memastikan kontinuitas suplai, meminimalisasi kerusakan pipa, serta menjaga kualitas air yang didistribusikan. Evaluasi kecepatan aliran secara berkala sangat diperlukan agar sistem distribusi air dapat berfungsi secara optimal dan memberikan pelayanan yang memadai bagi masyarakat. Kecepatan (V): ideal 0,3–2,5 m/s untuk menjaga self-cleansing sekaligus menghindari erosi dinding pipa & noise. (7509-SNI-2011-750-Reservoar,n.d.)



Gambar 3. Standar Kecepatan Aliran Pipa

1.6.7.3 Indikator layanan tambahan: kontinuitas, kualitas, dan NRW (sebagai cerminan kebocoran & ketidakterukuran)

Selain parameter hidraulis seperti tekanan, kecepatan, dan kehilangan energi (headloss), terdapat pula indikator layanan tambahan yang sangat penting untuk menilai kinerja sistem distribusi air bersih. Indikator-indikator ini berhubungan langsung dengan pelayanan yang diterima pelanggan, baik dari sisi kuantitas, kualitas, maupun keandalan sistem distribusi. Beberapa indikator yang umum digunakan antara lain adalah kontinuitas pelayanan, kualitas air, serta tingkat kehilangan air atau Non-Revenue Water (NRW). Kontinuitas pelayanan mengacu pada lamanya waktu suplai air yang tersedia bagi pelanggan dalam sehari. Kontinuitas yang baik ditandai dengan ketersediaan air selama 24 jam penuh, sehingga masyarakat dapat mengakses air bersih kapan pun dibutuhkan. Namun, dalam praktik di lapangan, masih banyak sistem distribusi air di Indonesia yang hanya mampu menyediakan layanan beberapa jam per hari, misalnya 12–18 jam/hari, atau bahkan lebih rendah. Kondisi ini dapat disebabkan



batasan sumber air baku, kapasitas produksi instalasi pengolahan air mencukupi, atau distribusi yang terhambat akibat tekanan rendah dan yang besar. Semakin tinggi kontinuitas pelayanan, semakin baik pula tingkat kepuasan pelanggan serta semakin tinggi derajat pelayanan sistem distribusi air bersih. (Magondu et al., 2013)

Selain kontinuitas, **kualitas air** yang diterima pelanggan juga merupakan indikator vital dalam penyediaan air bersih. Kualitas air distribusi umumnya dinilai berdasarkan parameter fisik, kimia, dan mikrobiologi sesuai standar baku mutu air minum. Namun, dalam evaluasi operasional jaringan distribusi, dua indikator yang sering digunakan adalah kadar sisa klorin dan tingkat kekeruhan. Kadar sisa klorin menunjukkan efektivitas proses desinfeksi dalam menjaga keamanan mikrobiologis air hingga ke titik pelanggan. Nilai sisa klorin yang dianjurkan biasanya berkisar antara 0,2–0,5 mg/L di jaringan distribusi. Jika nilainya terlalu rendah, maka air berisiko terkontaminasi bakteri patogen; sebaliknya, kadar yang terlalu tinggi dapat menimbulkan rasa dan bau yang tidak diinginkan. Sementara itu, tingkat kekeruhan merupakan indikator visual yang menggambarkan keberadaan partikel tersuspensi dalam air. Nilai kekeruhan yang tinggi menandakan adanya kontaminasi atau deposisi dalam pipa yang dapat memengaruhi estetika sekaligus keamanan air yang didistribusikan.

Indikator lain yang tidak kalah penting adalah tingkat kehilangan air atau Non-Revenue Water (NRW). (Magondu et al., 2013)

NRW didefinisikan sebagai selisih antara volume air yang diproduksi dan volume air yang berhasil ditagihkan kepada pelanggan. Tingkat kehilangan ini dapat terjadi akibat kebocoran fisik pada jaringan pipa (physical losses), pencurian atau penyambungan ilegal (commercial losses), serta kesalahan pencatatan meter atau ketidakakuratan pengukuran (apparent losses). NRW merupakan cerminan dari inefisiensi sistem distribusi karena menunjukkan bahwa sebagian air yang diproduksi tidak memberikan manfaat finansial bagi operator maupun pelayanan bagi masyarakat. Menurut standar internasional seperti AWWA, NRW yang baik berada di bawah 20% dari total produksi, sementara di Indonesia berdasarkan Permen PUPR target NRW yang dianjurkan adalah maksimal 25%. Tingginya NRW seringkali menjadi indikasi adanya kebocoran yang besar di jaringan distribusi, buruknya sistem pencatatan, maupun lemahnya pengendalian operasional. (Magondu et al., 2013)

Dalam evaluasi kinerja sistem distribusi air, indikator tambahan ini digabungkan dengan parameter hidraulis untuk memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh. Sistem distribusi yang baik tidak hanya ditandai oleh tekanan yang sesuai dan headloss yang kecil, tetapi juga oleh ketersediaan air yang kontinu, kualitas air yang terjaga hingga ke pelanggan, serta tingkat kehilangan air yang rendah. Oleh karena itu, analisis kinerja jaringan perpipaan menggunakan perangkat lunak seperti EPANET sebaiknya diintegrasikan dengan data operasional di lapangan mengenai kontinuitas, kualitas, dan NRW.



isis ini kemudian dibandingkan dengan standar atau target yang oleh operator, baik mengacu pada SNI, Permen PUPR, maupun internasional. Dengan cara ini, evaluasi kinerja jaringan distribusi akan lebih komprehensif dan dapat menjadi dasar perumusan strategi perbaikan yang tepat sasaran. (EPANET, 2020)

1.6.8 Standar dan Regulasi Jaringan Air Bersih

Salah satu standar pokok yang sering dijadikan acuan adalah SNI 7509:2011 tentang Tata Cara Perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum. Dalam standar ini dijelaskan berbagai ketentuan teknis yang meliputi perencanaan kapasitas, sistem transmisi dan distribusi, serta kriteria teknis jaringan perpipaan. Dari sisi hidraulika, SNI tersebut mengatur bahwa tekanan minimum yang harus tersedia di jaringan distribusi adalah 10 meter kolom air (≈ 1 bar) pada kondisi jam puncak, sementara tekanan maksimum yang diperbolehkan adalah 80 meter kolom air (≈ 8 bar). Rentang tekanan pelayanan yang dianjurkan berada pada kisaran 10–30 meter kolom air (1–3 bar) agar distribusi tetap optimal tanpa menimbulkan kerusakan jaringan. (SNI-2011-750-Reservoir, n.d.)

Selain tekanan, SNI juga memberikan pedoman mengenai kecepatan aliran dalam pipa, yang sebaiknya berada dalam rentang **0,3–2,5 m/s**. Batas minimum ini dimaksudkan untuk mencegah terjadinya sedimentasi di dalam pipa, sedangkan batas maksimum ditetapkan untuk mengurangi kehilangan energi yang terlalu besar sekaligus mencegah kerusakan mekanis pada jaringan. Standar ini sekaligus menjadi dasar dalam pemilihan diameter pipa yang tepat berdasarkan debit rencana dan kebutuhan pelayanan.

Dari sisi pelayanan, regulasi pemerintah melalui Permen PUPR Nomor 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum **serta** Permen PUPR Nomor 27/2016 tentang Penyelenggaraan SPAM juga menegaskan indikator pelayanan air bersih. Kontinuitas pelayanan ditargetkan mencapai **24 jam per hari**, kualitas air harus memenuhi baku mutu air minum sesuai Permenkes Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010, sementara tingkat kehilangan air atau Non-Revenue Water (NRW) diupayakan tidak melebihi **25%**. Angka ini menjadi target nasional yang masih menjadi tantangan besar bagi banyak PDAM di Indonesia, mengingat rata-rata NRW nasional masih berada di atas standar tersebut. (Permenkes RI, 2016)

Selain regulasi nasional, terdapat pula acuan dari standar internasional seperti American Water Works Association (AWWA) dan World Health



on (WHO) yang sering dijadikan rujukan. WHO, misalnya, an bahwa kualitas air minum harus bebas dari mikroorganisme memiliki kadar sisa klorin yang cukup (0,2–0,5 mg/L) untuk menjamin keamanan mikrobiologis, serta tingkat kekeruhan di bawah 5 NTU. Sementara itu, AWWA memberikan rekomendasi teknis mengenai desain hidraulika, penggunaan katup pengatur tekanan, dan batas kehilangan air yang ideal di bawah **20%**. (American Water Works Association (AWWA), 2020)

Dengan adanya standar dan regulasi ini, maka perencanaan maupun evaluasi jaringan distribusi air bersih dapat dilakukan secara lebih terukur. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak seperti EPANET kemudian dibandingkan dengan kriteria yang ditetapkan dalam SNI, Permen PUPR, maupun standar internasional. Apabila ditemukan deviasi, misalnya tekanan yang lebih rendah dari standar atau NRW yang terlalu tinggi, maka operator dapat merumuskan langkah perbaikan yang sesuai. Dengan cara ini, sistem distribusi air tidak hanya efisien secara teknis, tetapi juga memenuhi prinsip pelayanan publik yang aman, adil, dan berkelanjutan.

Dengan penjelasan seperti di atas penulis dapat menyimpulkan bahwasanya :

- **Tekanan layanan:** minimum jam puncak $\approx \geq 10$ m; maksimum dibatasi untuk proteksi aset.
- **Kecepatan pipa distribusi:** kira-kira 0,3–2,5 m/s; transmisi dapat berbeda.
- **Kualitas air & desinfeksi:** sisa klorin bebas dalam rentang aman; kontrol *water age*.
- **Proteksi kualitas:** hindari tekanan negatif, *cross-connection*, dan *back-siphonage* (perlindungan *air gap/backflow preventer*). Sesuaikan angka dan sitasi dengan dokumen resmi yang **diadopsi institusi peneliti** (dinas/PDAM).

1.6.9 Katup (Valve) dan Pengendalian Tekanan

Katup (*valve*) merupakan salah satu komponen penting dalam sistem distribusi air bersih yang berfungsi untuk mengatur arah, debit, maupun tekanan aliran. Dalam jaringan perpipaan, katup tidak hanya digunakan sebagai peralatan buka-tutup untuk mengendalikan aliran, tetapi juga sebagai instrumen pengendalian hidraulik guna menjaga agar sistem distribusi tetap beroperasi sesuai dengan standar yang diinginkan. Penggunaan katup yang tepat sangat membantu operator dalam menjaga keseimbangan tekanan, mengurangi kebocoran, serta meningkatkan keandalan pelayanan air kepada pelanggan. Dalam simulasi maupun perencanaan jaringan menggunakan aplikasi EPANET,



beberapa jenis katup yang umum digunakan sesuai fungsinya. Salah satunya adalah Pressure Reducing Valve (PRV), yaitu katup yang berfungsi untuk menurunkan tekanan di sisi hilir hingga mencapai nilai set-point yang telah ditentukan. PRV sangat efektif untuk menstabilkan tekanan di zona pelayanan dengan elevasi rendah yang biasanya mengalami tekanan berlebih. Dengan pengaturan ini, potensi kebocoran dan kerusakan jaringan dapat ditekan karena tekanan berlebih berhasil dikendalikan. Jenis lainnya adalah Pressure Sustaining Valve (PSV) yang digunakan untuk menjaga agar tekanan minimum di sisi hulu tetap terpelihara. PSV biasanya dipasang pada lokasi di mana penting untuk mempertahankan tekanan tertentu pada jaringan utama, meskipun terdapat aliran menuju cabang lain. Dengan demikian, PSV menjamin bahwa daerah dengan kebutuhan tekanan tertentu tetap memperoleh suplai yang sesuai standar. Selain itu, terdapat Pressure Breaker Valve (PBV) yang berfungsi menjaga perbedaan head atau tekanan agar tetap konstan. Katup ini umumnya digunakan pada sistem distribusi dengan topografi curam atau daerah yang memiliki perbedaan elevasi signifikan, sehingga dapat mencegah terjadinya lonjakan tekanan yang berpotensi merusak jaringan. (Rossman, 2018)

Flow Control Valve (FCV) juga merupakan jenis katup yang penting, karena berfungsi mengatur debit aliran agar tetap konstan sesuai dengan kebutuhan rencana. Katup ini sering digunakan pada jalur pipa tertentu untuk memastikan aliran tidak melebihi kapasitas yang diinginkan. Dengan demikian, distribusi air antarwilayah dapat lebih merata dan seimbang. Jenis katup lainnya adalah Throttle Control Valve (TCV) yang berfungsi menambah kehilangan minor (*minor loss*) secara terkontrol. TCV dapat digunakan untuk menyeimbangkan aliran dalam jaringan yang kompleks, terutama ketika terjadi perbedaan tekanan yang signifikan antarjalur distribusi. Penggunaan kombinasi katup-katup ini sangat erat kaitannya dengan konsep zonasi tekanan. Dengan membagi jaringan distribusi ke dalam beberapa zona tekanan yang dikendalikan oleh PRV atau PSV, operator dapat mengatur profil tekanan agar sesuai dengan standar pelayanan. Zonasi tekanan terbukti efektif dalam menurunkan tingkat kebocoran dan mengurangi angka *burst rate* atau pecahnya pipa akibat tekanan berlebih. Selain itu, pada jam puncak konsumsi, katup membantu memuluskan fluktuasi tekanan sehingga suplai air tetap stabil ke seluruh pelanggan. Dengan demikian, katup bukan hanya sekadar komponen mekanis dalam jaringan pipa, tetapi juga merupakan instrumen hidraulik strategis dalam pengendalian sistem distribusi air bersih. Penggunaan katup yang tepat, disertai analisis hidraulika dengan perangkat lunak seperti EPANET, memungkinkan sistem distribusi air bekerja lebih efisien, berkelanjutan, dan mampu memberikan pelayanan yang lebih andal bagi masyarakat. (Rossman, 2018)



Manfaat Google Earth dalam Pengukuran Panjang Pipa

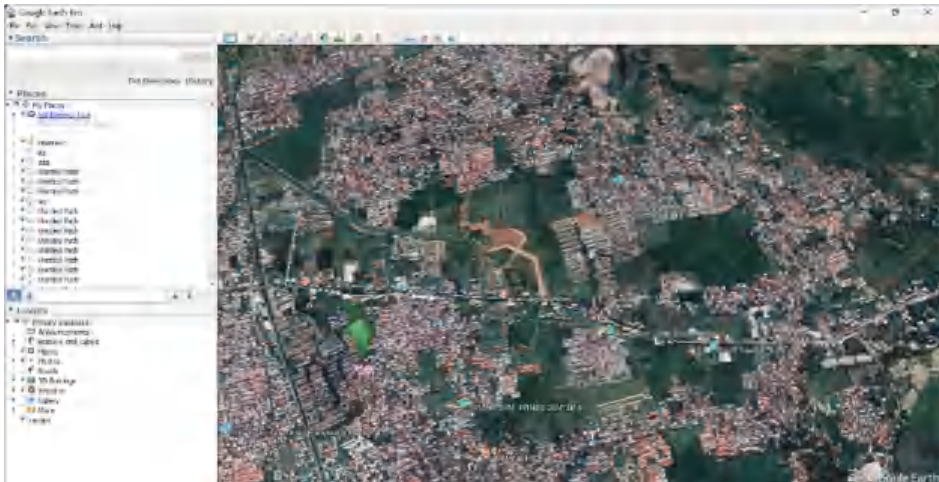
Dalam perencanaan maupun evaluasi jaringan distribusi air bersih, data spasial berupa panjang pipa, jalur distribusi, serta kondisi topografi merupakan aspek yang sangat penting. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan untuk membantu memperoleh data spasial tersebut adalah Google Earth. Google Earth merupakan aplikasi berbasis *Geographic Information System* (GIS) yang dikembangkan oleh Google, dengan fungsi utama menampilkan citra satelit, peta, medan (*terrain*), serta data spasial lainnya pada permukaan bumi secara interaktif. Kelebihan utama Google Earth adalah kemampuannya menampilkan citra satelit dengan resolusi cukup tinggi yang dapat diperbesar (*zoom in*) maupun diperkecil (*zoom out*) sesuai kebutuhan analisis. Dalam konteks perencanaan jaringan pipa, Google Earth dapat digunakan untuk melakukan *digitasi* jalur pipa distribusi dengan memanfaatkan fitur pengukuran jarak (*ruler tool*). Dengan fitur tersebut, pengguna dapat menarik garis mengikuti jalur rencana atau eksisting pipa di atas peta citra satelit, sehingga diperoleh estimasi panjang pipa secara langsung. (Magondu et al., 2013)

Selain itu, Google Earth juga memberikan informasi mengenai kondisi topografi dan elevasi sepanjang jalur yang digambar. Data elevasi ini penting karena dalam hidraulika jaringan pipa, perbedaan ketinggian sangat memengaruhi distribusi tekanan serta kebutuhan energi pompa. Dengan demikian, hasil pengukuran panjang dan elevasi dari Google Earth dapat menjadi input awal yang berguna sebelum dilakukan pemodelan lebih lanjut menggunakan perangkat lunak hidraulika seperti EPANET. Penggunaan Google Earth juga relatif sederhana dan mudah dipahami. Proses pengukuran panjang pipa dapat dilakukan dengan langkah-langkah praktis, yaitu menentukan titik awal (misalnya reservoir atau sumber air), kemudian menarik garis mengikuti jalur jalan atau trase pipa hingga mencapai titik distribusi atau sambungan. Panjang total pipa kemudian akan otomatis dihitung oleh sistem. Data ini dapat diekspor ke dalam format koordinat atau peta (misalnya *.kml* atau *.kmz*) untuk kemudian diolah lebih lanjut di software lain, termasuk GIS atau aplikasi permodelan jaringan pipa. (Magondu et al., 2013)

Dalam penelitian-penelitian terdahulu, Google Earth terbukti mampu menjadi alternatif yang efektif dalam perhitungan panjang pipa terutama ketika data lapangan masih terbatas. Meskipun hasil pengukuran menggunakan Google Earth memiliki keterbatasan dalam hal akurasi (misalnya karena resolusi citra satelit atau ketidaksesuaian jalur dengan kondisi sebenarnya di lapangan), aplikasi ini tetap sangat membantu dalam memberikan gambaran awal mengenai panjang dan pola jaringan distribusi. Oleh karena itu, pengukuran dengan Google



nya dilengkapi dengan verifikasi lapangan (*ground check*) untuk in hasil yang diperoleh sesuai dengan kondisi nyata. Dengan demikian, an Google Earth tidak hanya mempermudah proses pengumpulan data spasial, tetapi juga meningkatkan efisiensi waktu dan biaya dalam tahap perencanaan maupun evaluasi jaringan pipa. Integrasi data dari Google Earth dengan perangkat lunak EPANET menjadikan proses analisis hidraulika lebih realistis, akurat, dan sesuai dengan kondisi geografis wilayah kajian. (Magondu et al., 2013)



Gambar 4. Tampilan Awal Google Earth (Sumber : Google Earth)

1.6.11 Kebutuhan Air Pada Kawasan Tertentu

Kebutuhan air merupakan salah satu faktor fundamental yang harus diperhitungkan dalam perencanaan sistem penyediaan air minum di suatu kawasan. Kebutuhan air dipengaruhi oleh berbagai aspek, seperti jumlah penduduk, tingkat pelayanan, pola konsumsi, serta karakteristik sosial-ekonomi masyarakat. Menurut SNI 7509:2011 tentang Tata Cara Perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum, perhitungan kebutuhan air dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan domestik (rumah tangga), non-domestik (perdagangan, industri, fasilitas umum), serta kebutuhan khusus (cadangan kebakaran dan kehilangan air). (7509-SNI-2011-750-Reservoir, n.d.)

Dalam regulasi tersebut, kebutuhan domestik biasanya dihitung berdasarkan proyeksi jumlah penduduk dikalikan dengan standar konsumsi per kapita harian. Besarnya konsumsi per kapita berbeda menurut klasifikasi kota atau wilayah, yang ditentukan berdasarkan jumlah penduduk dan tingkat perkembangan ekonomi. Misalnya, pada kota besar dengan tingkat pelayanan tinggi, standar konsumsi air dapat mencapai 150–200 liter/orang/hari, sedangkan untuk kota kecil atau pedesaan umumnya lebih rendah, yaitu 60–100 liter/orang/hari.



ini sejalan dengan acuan Permen PUPR Nomor 18/PRT/M/2007 yang an bahwa perencanaan kapasitas harus memperhatikan proyeksi an penduduk hingga umur rencana sistem.(Pekerjaan Umum (Public 107)

Selain kebutuhan domestik, terdapat kebutuhan non-domestik yang mencakup penggunaan air untuk perkantoran, sekolah, rumah sakit, perdagangan, hingga industri. Menurut Permen PUPR Nomor 27/2016 tentang Penyelenggaraan SPAM, kebutuhan non-domestik harus disesuaikan dengan karakteristik wilayah, seperti kawasan industri, pariwisata, atau pusat perdagangan, yang dapat menyerap porsi konsumsi air cukup signifikan. Kebutuhan tambahan berupa cadangan kebakaran biasanya diperhitungkan sebesar 10–15% dari kebutuhan domestik harian maksimum.(PermenPUPR27-2016, n.d.)

Dari sisi kualitas, **WHO (2017) Guidelines for Drinking-Water Quality** menekankan bahwa penyediaan air harus memenuhi aspek kuantitas dan kualitas secara simultan. Kuantitas yang memadai dinyatakan sebagai ketersediaan air harian minimum **50–100 liter per orang** untuk menjamin kebutuhan dasar konsumsi, kebersihan, dan sanitasi. Hal ini menunjukkan bahwa standar internasional sejalan dengan regulasi nasional dalam menetapkan ambang minimum penyediaan air. Dengan demikian, perencanaan kebutuhan air di suatu kawasan harus mengacu pada kombinasi antara standar nasional (SNI 7509:2011 dan Permen PUPR terkait) serta acuan internasional (WHO). Pendekatan ini memastikan bahwa kapasitas sistem distribusi yang dirancang tidak hanya memadai secara teknis, tetapi juga berkelanjutan, andal, dan mampu menjawab tantangan peningkatan kebutuhan air di masa depan.(Permenkes RI, 2010)

Tabel 3. Standar Konsumsi Air Bersih (Sumber : SNI 7509 : 2011)

Jenis Kawasan	Kebutuhan Air (Liter/orang/hari)	Keterangan
Kota Metropolitan	150 – 200	Kepadatan penduduk tinggi, aktivitas rumah tangga & komersial intensif
Kota Besar	120 – 150	Aktivitas domestik & non-domestik sedang–tinggi
Kota Sedang/Kecil	100 – 120	Didominasi kebutuhan rumah tangga, sedikit industri
Kawasan Perdesaan	60 – 100	Aktivitas lebih sederhana, sebagian kebutuhan non-pipa (sumur, sungai)
Kawasan Industri	200 – 300 (tambahan)	Tergantung jenis industri, bisa lebih besar dari rata-rata konsumsi domestik



	150 – 250 (tambahan)	Hotel, mall, pasar, dan perkantoran
	50 – 100 (tambahan)	Asrama, sekolah, dan universitas
Fasilitas Umum & Sosial	30 – 60 (tambahan)	Rumah sakit, masjid, kantor pemerintahan, taman kota, dll

1.6.12 Sistem Distribusi Gravitasi, Pompa, Dan Gabungan

1.6.12.1 Sistem Distribusi Gravitasi

Sistem distribusi air dengan metode gravitasi adalah sistem paling tua dan paling luas digunakan, terutama pada daerah dengan kondisi topografi yang mendukung. Prinsip kerjanya adalah memanfaatkan **perbedaan elevasi** antara sumber air (misalnya mata air, intake bendung, atau reservoir hulu) dengan daerah pelayanan. Air mengalir karena adanya gaya gravitasi yang menyebabkan beda tinggi energi (head) sehingga tidak diperlukan energi tambahan dari luar.

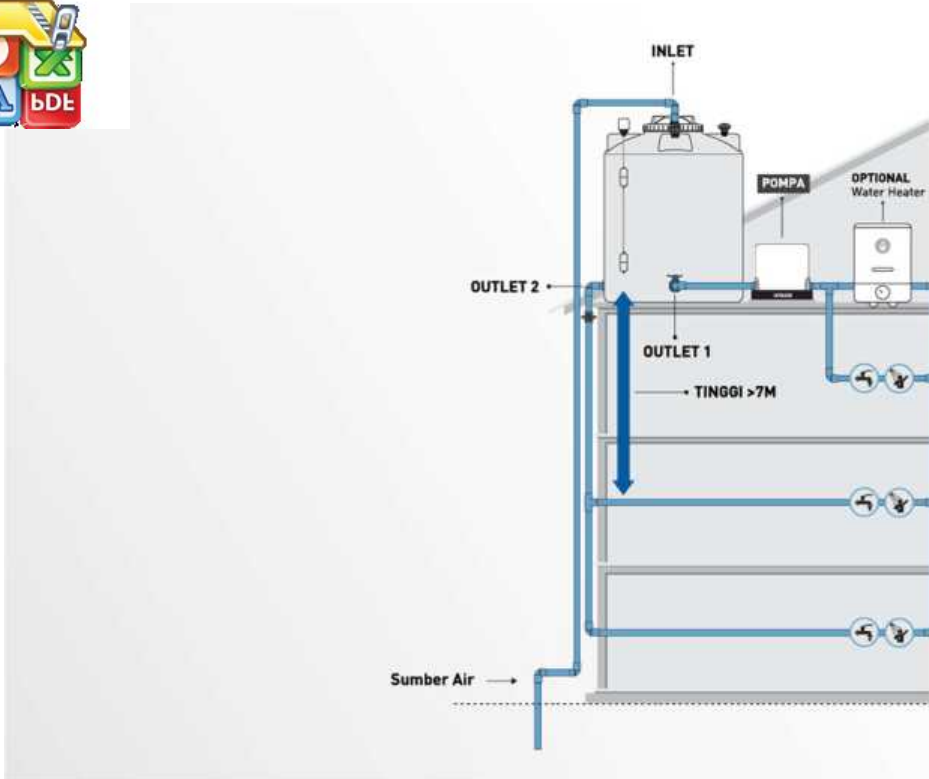
Kelebihan sistem gravitasi antara lain:

- Biaya operasional rendah karena tidak memerlukan energi listrik maupun bahan bakar.
- Risiko kerusakan mekanis rendah, karena hampir tidak ada peralatan bergerak.
- Umur operasional jaringan relatif panjang.

Kelemahan sistem gravitasi:

- Hanya dapat diterapkan apabila elevasi sumber lebih tinggi daripada daerah pelayanan.
- Kontrol tekanan relatif sulit, terutama pada daerah dengan variasi topografi yang besar (menyebabkan beberapa titik over-pressure dan titik lain under-pressure).
- Perlu adanya reservoir untuk menyeimbangkan fluktuasi debit.

Contoh penerapan: sistem penyediaan air minum di daerah pegunungan atau dataran tinggi, di mana mata air terletak di posisi lebih tinggi dibandingkan permukiman. (Afriyanda et al., 2018)



Gambar 5. Skema Sistem Distribusi Gravitasi (Sumber :Penguin.id)

1.6.12.2 Sistem Distribusi dengan Pompa

Apabila kondisi topografi tidak memungkinkan penerapan sistem gravitasi, maka digunakan sistem pompa. Dalam sistem ini, pompa berfungsi sebagai alat utama untuk memberikan energi tambahan berupa tekanan agar air dapat didorong menuju jaringan distribusi. (Afriyanda et al., 2018)

Kelebihan sistem pompa:

- Dapat diaplikasikan di daerah datar atau bahkan daerah yang lebih tinggi dari sumber.
- Tekanan dan debit dapat diatur sesuai kebutuhan operasional.
- Lebih fleksibel dalam perencanaan sistem distribusi.

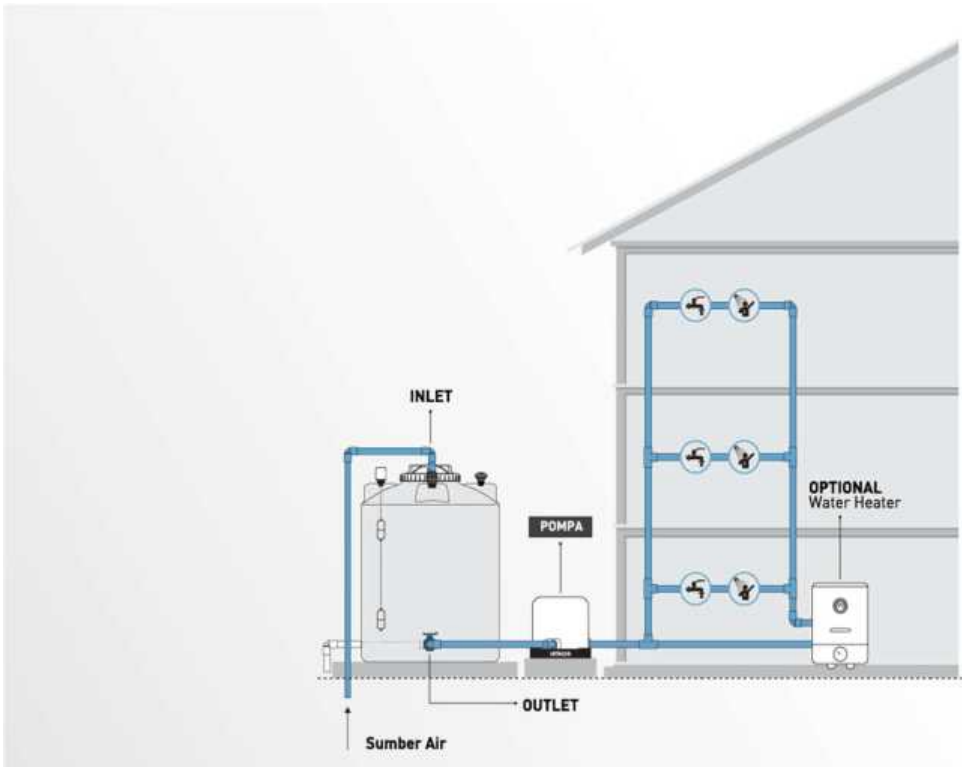
Kekurangan sistem pompa:

- Biaya operasional tinggi karena membutuhkan energi listrik atau bahan bakar.
- Membutuhkan perawatan rutin agar performa pompa tetap optimal.



ko gangguan pelayanan tinggi apabila terjadi pemadaman listrik atau rusakan pompa.

nerapan: sistem distribusi air minum pada kota besar dengan topografi datar (misalnya kota pesisir), di mana seluruh aliran air bersih harus dipompa dari IPA (Instalasi Pengolahan Air) menuju reservoir dan pelanggan.



Gambar 6. Skema Sistem Distribusi Pompa (Sumber : Penguin.id)

1.6.12.3 Sistem Distribusi Gabungan (Gravitasi – Pompa)

Sistem gabungan merupakan metode yang memanfaatkan **keunggulan sistem pompa dan gravitasi** secara bersamaan. Pada sistem ini, pompa digunakan untuk menaikkan air ke sebuah reservoir (tandon) yang ditempatkan pada elevasi lebih tinggi. Selanjutnya, distribusi ke pelanggan dilakukan dengan sistem gravitasi. (Afriyanda et al., 2018)

Kelebihan sistem gabungan:

- Mengurangi ketergantungan terhadap pompa dalam jangka panjang, sehingga biaya operasional lebih efisien.

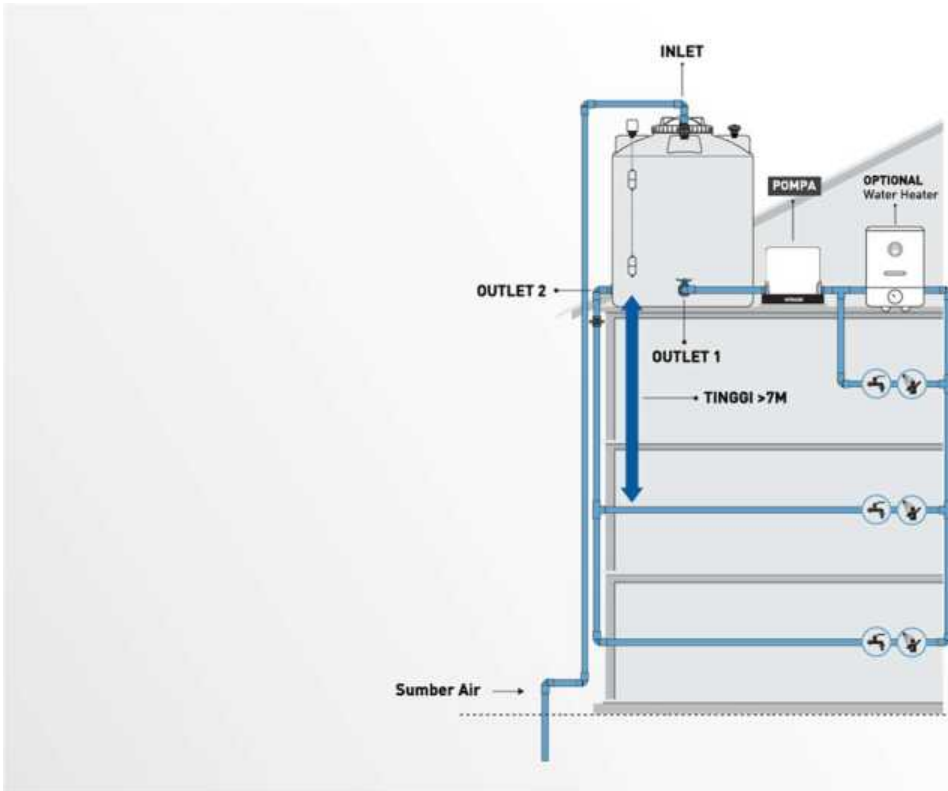


jamin kontinuitas pelayanan meskipun terjadi gangguan listrik sesaat, rena reservoir masih menyimpan cadangan air.

anan distribusi lebih stabil.

Kekurangan sistem gabungan:

- Membutuhkan biaya investasi awal yang lebih besar (untuk pembangunan reservoir, pompa, dan perpipaan tambahan).
- Membutuhkan sistem kontrol dan perawatan yang lebih kompleks.



Gambar 7. Skema Sistem Distribusi Gabungan (Sumber : Penguin.id)

1.6.13 Persamaan Hukum Bernoulli

Persamaan Bernoulli merupakan salah satu hukum dasar dalam mekanika fluida yang digunakan untuk menganalisis perilaku aliran pada sistem perpipaan. Persamaan ini menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida ideal, jumlah energi yang terdiri dari energi tekanan (pressure head), energi kinetik (velocity head), dan energi potensial akibat elevasi (elevation head) adalah konstan sepanjang



dengan asumsi tidak terjadi kehilangan energi. Persamaan Bernoulli iskan sebagai berikut:

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z = \text{konstan}$$

dengan keterangan:

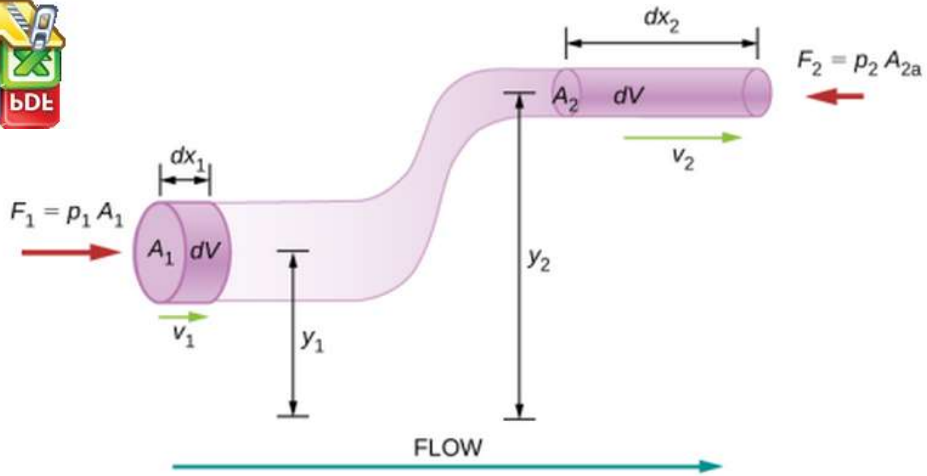
- p = tekanan fluida (N/m^2),
- γ = berat jenis fluida (N/m^3),
- v = kecepatan aliran (m/s),
- g = percepatan gravitasi (m/s^2),
- z = elevasi titik (m).

Dalam konteks jaringan distribusi air minum, persamaan Bernoulli digunakan untuk memahami hubungan antara tekanan, kecepatan aliran, dan ketinggian elevasi di berbagai titik dalam sistem perpipaan. Tekanan yang terdistribusi pada setiap node dalam jaringan, seperti yang dihasilkan oleh simulasi EPANET 2.2, pada dasarnya merupakan hasil dari keseimbangan energi yang dijelaskan dalam persamaan Bernoulli.

Namun, dalam kondisi nyata, sistem distribusi air mengalami kehilangan energi (head loss) akibat gesekan dalam pipa maupun akibat sambungan, belokan, katup, dan perlengkapan lainnya. Oleh karena itu, persamaan Bernoulli sering dimodifikasi dengan menambahkan faktor kehilangan energi (hf), sehingga menjadi:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + hf$$

Dalam penelitian ini, prinsip Bernoulli menjadi landasan teoretis untuk menganalisis distribusi tekanan pada jaringan pipa PDAM. Hasil simulasi menggunakan EPANET 2.2, seperti data tekanan pada junction dan headloss pada pipa, merepresentasikan penerapan nyata dari persamaan Bernoulli yang sudah mempertimbangkan kehilangan energi. Dengan demikian, teori ini sangat relevan untuk menjelaskan bagaimana variasi elevasi, debit aliran, serta kondisi hidraulika lainnya memengaruhi tekanan air yang diterima oleh konsumen di wilayah pelayanan. (Zhang, 2025)

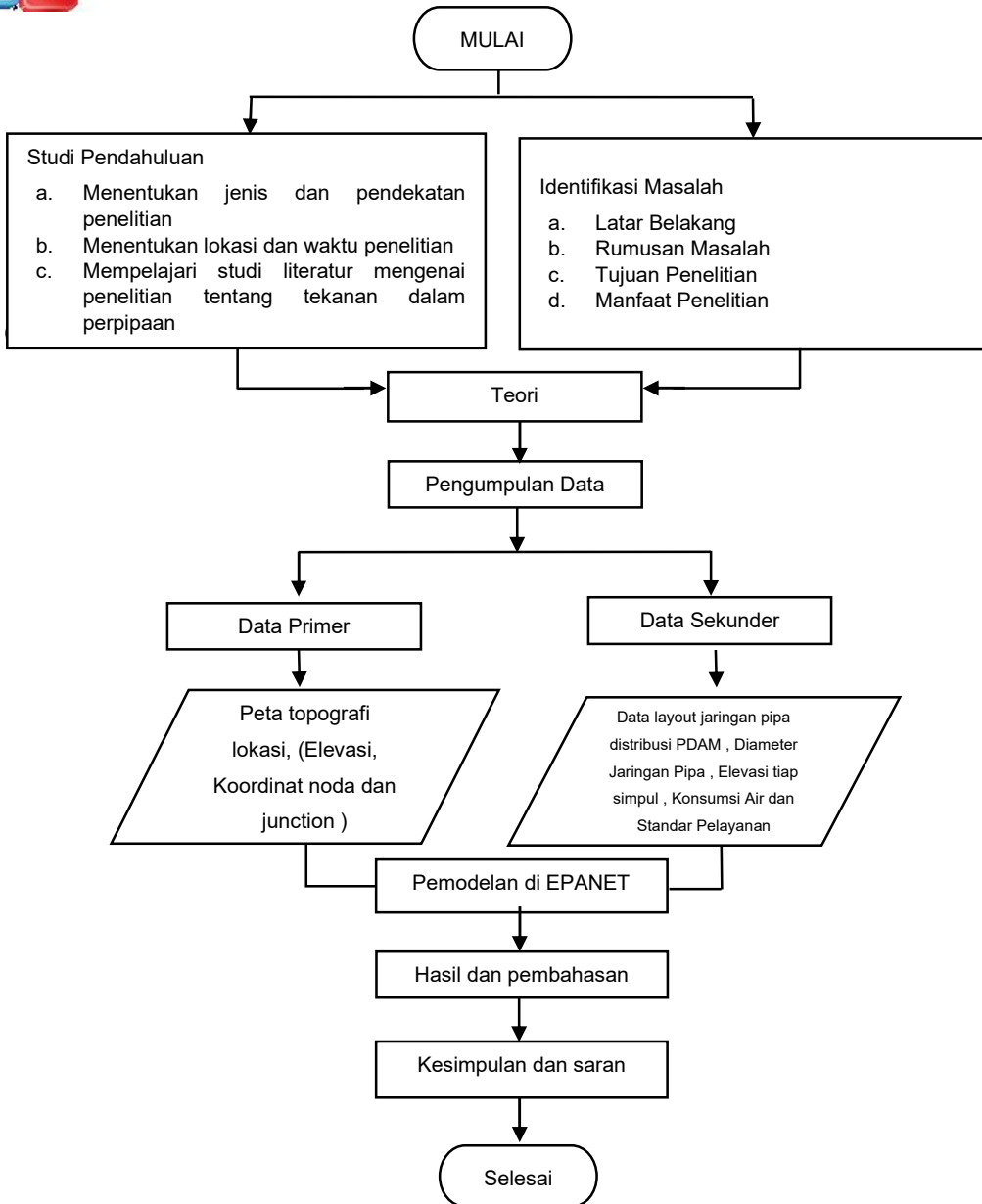


Gambar 8. Ilustrasi Hukum Bernoulli Pada Pipa (Sumber : *Chemical Engineering Universitas Indonesia*)



BAB II METODE PENELITIAN

am Alir Penelitian



Gambar 9. Diagram alir penelitian



dan Pendekatan Penelitian

nis penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah penelitian deskriptif, yang bertujuan untuk menggambarkan kondisi jaringan pipa distribusi air bersih secara numerik berdasarkan hasil simulasi hidraulik. Pendekatan yang digunakan adalah studi evaluatif berbasis pemodelan, yaitu melakukan evaluasi sistem jaringan pipa melalui bantuan aplikasi simulasi EPANET berdasarkan data jaringan eksisting.

2.3 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di wilayah **Kecamatan Bontomarannu**, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari pengumpulan data jaringan pada bulan Februari 2025 , pemodelan jaringan menggunakan EPANET, hingga evaluasi dan penyusunan laporan akhir pada bulan Juni 2025.



Gambar 10. Peta Kecamatan Bontomarannu



Gambar 11. Lokasi Penelitian (PDAM Kecamatan Bontomarannu)

2.4 Data dan Sumber Data

2.4.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh peneliti secara langsung dari sumber pertama di lapangan melalui metode pengumpulan data seperti observasi, wawancara, kuesioner, atau pengukuran langsung. Data ini dianggap lebih otentik karena dikumpulkan khusus untuk menjawab pertanyaan penelitian yang sedang dilakukan, sehingga relevansinya sangat tinggi terhadap tujuan studi.

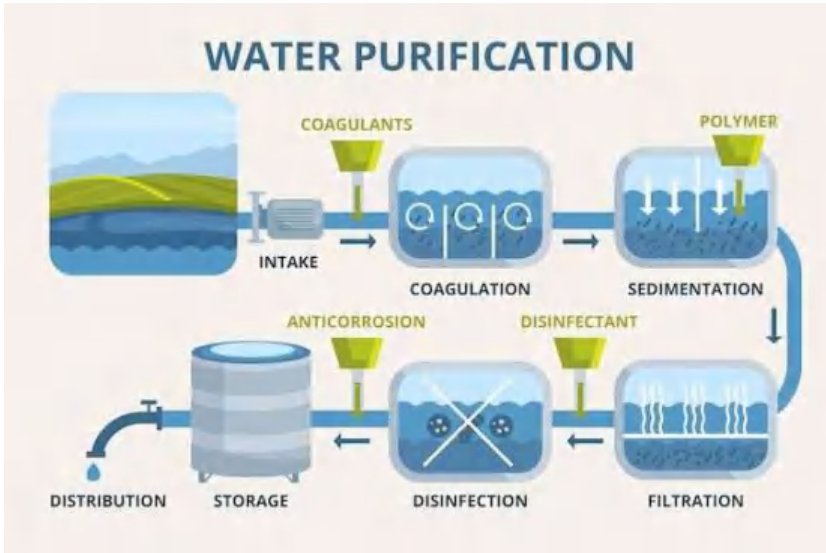
Dalam penelitian, data primer memiliki keunggulan karena dapat menggambarkan kondisi nyata dan aktual dari objek penelitian. Peneliti memiliki kendali penuh dalam proses pengumpulan data, mulai dari menentukan indikator, instrumen, hingga teknik pengukuran. Namun, pengumpulan data primer biasanya membutuhkan waktu, biaya, dan tenaga yang lebih besar dibandingkan penggunaan data sekunder.

Penggunaan data primer sangat penting untuk melengkapi data sekunder, terutama ketika data sekunder tidak memadai atau kurang spesifik. Dengan adanya data primer, peneliti dapat melakukan validasi, verifikasi, dan kalibrasi hasil analisis sehingga kesimpulan yang diambil lebih dapat dipertanggungjawabkan. Adapun data primer yang digunakan pada penelitian ini adalah **Sistem Pengolahan Air PDAM Kecamatan Bontomarannu**

Sistem pengolahan air di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) pada dasarnya bertujuan untuk mengubah air baku dari sumbernya (sungai, danau, waduk, atau sumur dalam) menjadi air bersih yang memenuhi standar kualitas air minum sesuai Permenkes RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010. Proses

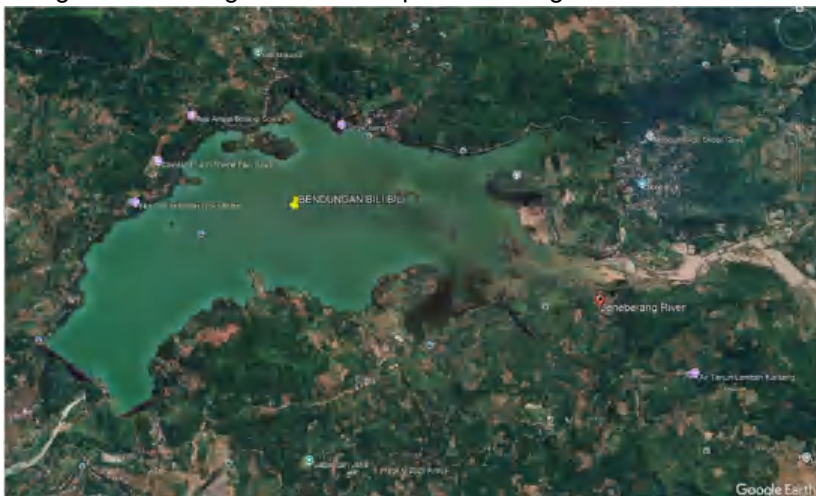


n dilakukan melalui serangkaian tahapan fisika, kimia, dan biologi hilangkan kotoran, zat berbahaya, serta mikroorganisme patogen. utama sistem pengolahan air PDAM adalah sebagai berikut:



Gambar 12. Skema Pengolahan Air Bersih PDAM Kecamatan Bontomarannu

1. Pengambilan Air Baku (Intake), Air baku diambil dari sumber seperti sungai atau bendungan menggunakan pompa atau saluran gravitasi. Pada tahap ini biasanya sudah dilengkapi dengan *bar screen* untuk menyaring sampah berukuran besar (ranting, plastik, daun). Pada PDAM Bontomarannu Pengambilan Air baku diambil dari Bendungan Bili Bili, Sungai Jeneberang dan Mata air patene sebagai sumber dari intake.



Gambar 13. Lokasi sumber Air Baku PDAM Bontomarannu



agulasi dan Flokulasi, Bahan kimia koagulan (misalnya tawas atau $Al_2(SO_4)_3$) ditambahkan untuk menggumpalkan partikel halus menjadi flok. Proses pengadukan cepat (koagulasi) dilanjutkan dengan pengadukan lambat (flokulasi) agar flok terbentuk lebih besar dan mudah mengendap. Pada PDAM Bontomarannu menggunakan tawas sebagai media untuk koagulasi dan flokulasi

3. Sedimentasi, Air yang mengandung flok dialirkan ke bak sedimentasi. Pada tahap ini flok mengendap ke dasar bak, sehingga kekeruhan air menurun signifikan.
4. Filtrasi (Penyaringan), Air jernih dari bak sedimentasi disaring melalui media pasir, kerikil, dan karbon aktif. Proses ini berfungsi menyaring partikel halus yang masih tersisa dan meningkatkan kejernihan air. Pada PDAM Borongloe media filtrasi yang digunakan berupa pasir silika, antrasit, dan kerikil untuk menjernihkan lagi dari air yang akan di disinfeksi pada tahap selanjutnya.
5. Disinfeksi, Untuk membunuh kuman, bakteri, dan mikroorganisme patogen, air diberi desinfektan (biasanya klorin). Tahap ini penting agar air aman dikonsumsi masyarakat. Pada PDAM Bontomarannu disinfeksi menggunakan gas klorin (Cl_2) Karena dirasa lebih efektif untuk membunuh kuman dan virus juga mudah di aplikasikan pada air yang akan di distribusikan kepada pelanggan
6. Reservoir / Bak Penampung, Air bersih kemudian dialirkan ke reservoir untuk ditampung sebelum disalurkan ke jaringan distribusi. Pada tahap ini air ditampung dan dibuat stabil pada ketinggian tertentu untuk menjaga kestabilan tekanan air yang akan di distribusikan
7. Distribusi ke Pelanggan, Dari reservoir, air didistribusikan melalui pipa transmisi dan distribusi hingga sampai ke rumah pelanggan. Pada tahap ini biasanya digunakan pompa distribusi atau memanfaatkan sistem gravitasi tergantung kondisi topografi. Pada PDAM Bontomarannu system yang digunakan adalah system kombinasi yaitu Gravitasi dan Pompa karena dirasa lebih efektif dalam menjaga kestabilan kecepatan tekanan dan parameter lain yang memengaruhi dari distribusi air PDAM Bontomarannu.

2.4.2 Data Sekunder

Dalam penelitian mengenai evaluasi jaringan distribusi air minum di PDAM, data sekunder menjadi salah satu sumber informasi utama yang mendukung analisis. Data sekunder diperoleh dari dokumen dan catatan yang telah tersedia sebelumnya di instansi terkait, seperti PDAM Bontomarannu maupun lembaga pemerintah lainnya.

Jenis data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini antara lain data teknis jaringan pipa distribusi (panjang, diameter, material pipa), data elevasi dan



wilayah pelayanan, peta jaringan distribusi, serta catatan operasional anan air, debit aliran, dan data konsumsi pelanggan. Selain itu, standar an dan acuan teknis, misalnya dari SNI 7509:2011 tentang penyediaan air minum, juga digunakan sebagai rujukan dalam melakukan evaluasi dan interpretasi hasil simulasi.

Pemanfaatan data sekunder ini sangat penting karena dapat mempercepat proses penelitian, menghemat biaya, serta menyediakan dasar perhitungan yang lebih akurat dalam pemodelan menggunakan perangkat lunak EPANET 2.2. Namun demikian, peneliti tetap perlu melakukan verifikasi terhadap kesesuaian dan keandalan data, sehingga hasil simulasi yang diperoleh benar-benar mencerminkan kondisi nyata sistem distribusi air di lapangan.

Dengan demikian, data sekunder tidak hanya berfungsi sebagai pelengkap, tetapi juga sebagai fondasi utama dalam membangun model jaringan distribusi, sehingga hasil evaluasi dapat digunakan sebagai rekomendasi teknis bagi PDAM dalam meningkatkan kualitas pelayanan air minum kepada masyarakat. Adapun Data Sekunder yang digunakan pada penelitian ini adalah :

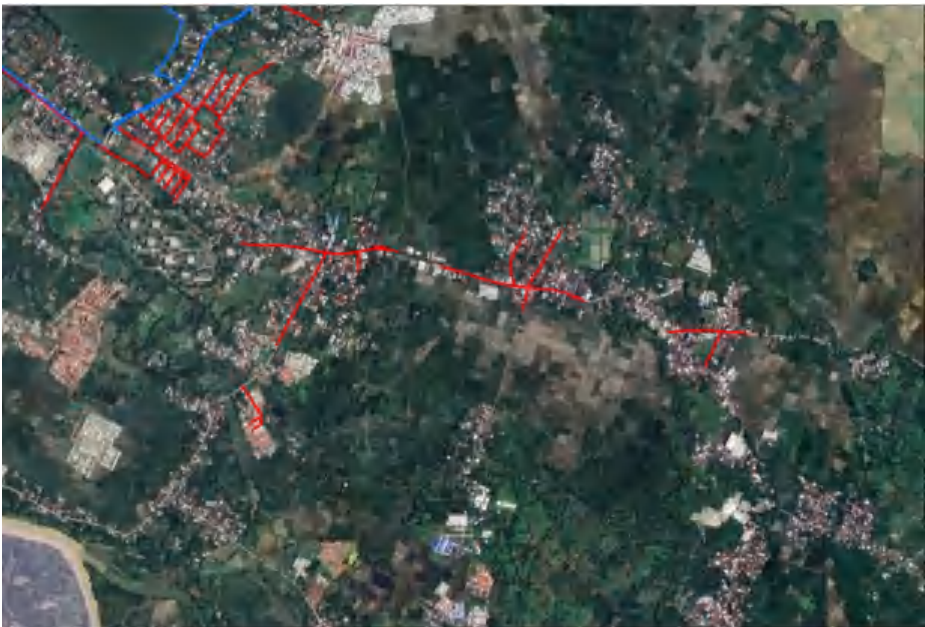
1. Data Layout
2. Diameter dan Panjang Pipa
3. Elevasi Setiap Simpul dan Node
4. Data Konsumsi Air
5. Informasi tekanan minimum

Data layout jaringan pipa (peta distribusi air bersih dan data teknis dari PDAM atau instansi terkait) Layout Jaringan Pipa PDAM terdiri atas tiga gambar yaitu gambar section 1 merupakan layout yang melayani dari Danau mawang, Perumahan Bumi Batara Mawang, Perumahan Teknik, dan Jalan poros malino, Pada gambar section 2 melayani jalan poros malino, perumahan PKG, Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Jalan Hamzah Dg. Tompo, Jalan Timbuseng, dan Jalan Borong Sapiri , Untuk gambar section 3 melayani dari Jalan STTP, Jalan Poros, Dan Jalan Sultan Alauddin Gowa

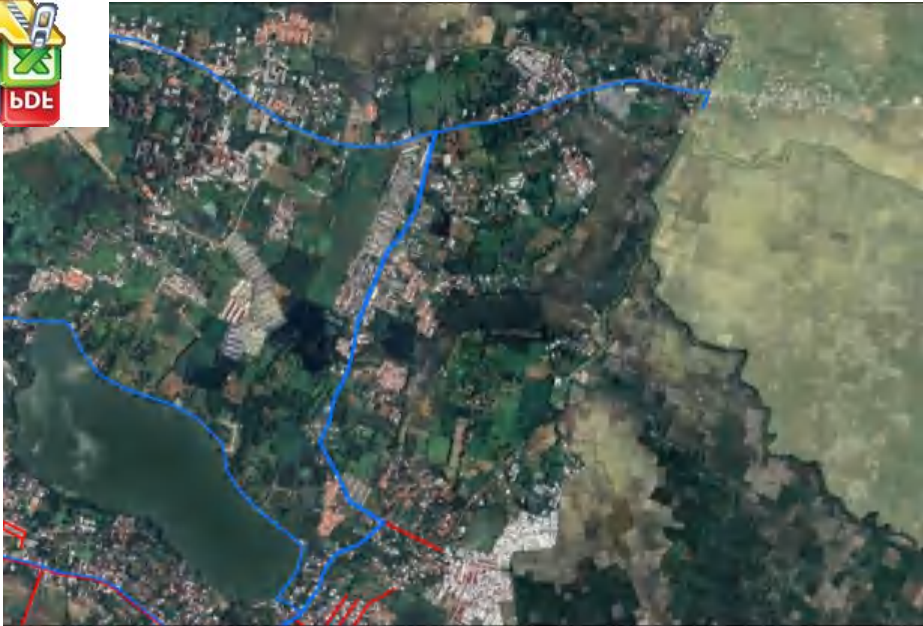
Berikut layout pipa PDAM Kecamatan Bontomarannu :



Gambar 14. Layout Jaringan Pipa Distribusi PDAM Bontomarannu Section 1



Gambar 15. Layout Jaringan Pipa distribusi PDAM Bontomarannu Section 2



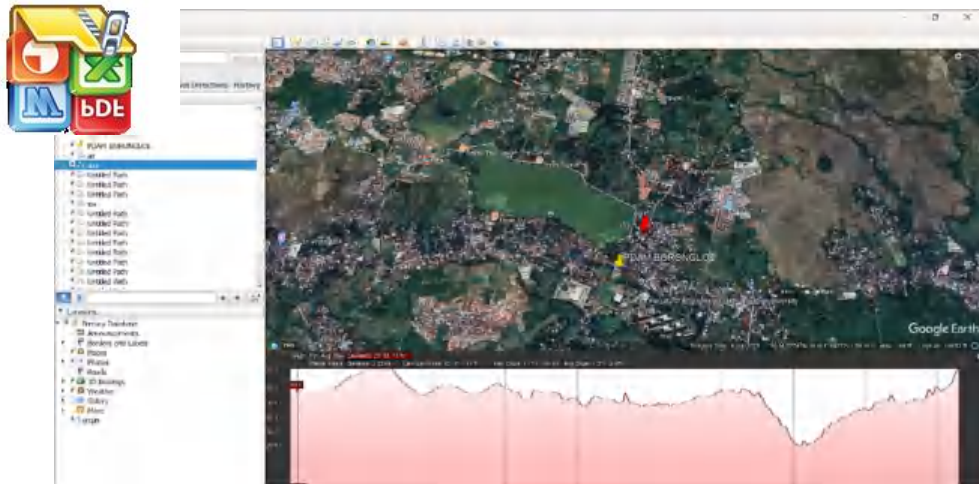
Gambar 16. Layout Jaringan Pipa Distribusi PDAM Bontomarannu Section 3

Diameter dan Panjang pipa yang digunakan berkisar pada diameter 6", 8", dan 12" yang tersebar sepanjang jaringan distribusi pipa PDAM Kecamatan Bontomarannu. Untuk diameter 12" berada di reservoir dan jalan poros disekitar PDAM. Untuk diameter 8" berada di sepanjang jalan utama pada jaringan distribusi dan , yang berdiameter 6" berada pada Lorong atau jalan masuk ke dalam perumahan yang ada di sepanjang jaringan distribusi pipa PDAM Kecamatan Bontomarannu. Umur jaringan pipa PDAM Bontomarannu berada di kisaran 4 tahun 7 bulan hingga 4 tahun 10 bulan.



Gambar 17 Dokumentasi Pipa Distribusi PDAM Kecamatan Bontomarannu

Elevasi setiap simpul (node) dan reservoir , untuk elevasi pada setiap node dan reservoir bisa didapatkan pada aplikasi google earth lalu untuk elevasi bisa didapatkan melalui *tools path* dalam Google Earth lalu show elevation, jadi untuk melihat elevasi jaringan distribusi harus di gambar terlebih dahulu pada Aplikasi *Google Earth* untuk contoh gambarnya sebagai berikut :



Gambar 18. Contoh Tampilan Elevasi Titik (Node) dan Reservoir pada *Google Earth*

Untuk Data Konsumsi Air didapatkan Berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari Perumda Air Minum Tirta Jeneberang Kabupaten Gowa, wilayah pelayanan IKK Borongloe yang mencakup Kecamatan Bontomarannu memiliki total pelanggan sebanyak 6.351 sambungan hingga akhir tahun 2024. Dari jumlah tersebut, pelanggan aktif mencapai 5.410 sambungan, sedangkan sisanya berstatus nonaktif. Komposisi pelanggan terbesar berasal dari rumah tangga golongan III B dengan jumlah 3.825 sambungan, disusul oleh rumah tangga golongan II B sebanyak 815 sambungan. Selain itu terdapat pelanggan dari sektor niaga kecil, industri kecil, serta institusi pemerintah, meskipun jumlahnya relatif sedikit.

Dari sisi volume pemakaian, laporan PDAM bulan Desember 2024 mencatat total distribusi air sebesar 154.688 m³ per bulan untuk wilayah IKK Borongloe. Rata-rata konsumsi pelanggan rumah tangga berada pada kisaran 20–30 m³ per bulan per sambungan, sedangkan kelompok niaga dan institusi pemerintah menunjukkan konsumsi yang lebih tinggi.

Sementara itu, data kapasitas produksi dan distribusi Januari 2025 menunjukkan bahwa IPA Borongloe mampu memproduksi rata-rata 210 liter/detik atau setara dengan 544.320 m³ per bulan. Dari volume tersebut, yang terdistribusi ke pelanggan sekitar 481.237 m³ per bulan, sehingga terdapat kehilangan air (*non-revenue water/NRW*) yang masih cukup signifikan.

Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun kapasitas produksi IPA Borongloe mencukupi kebutuhan, distribusi ke pelanggan di Kecamatan



annu masih menghadapi tantangan berupa kebocoran, kehilangan air, dan tekanan yang belum merata. Oleh karena itu, evaluasi menggunakan metode analisis jaringan menjadi penting untuk memodelkan pola konsumsi dan tekanan dalam jaringan agar dapat diperoleh rekomendasi teknis yang lebih akurat.

Tabel 4. Ringkasan Konsumsi Air (IKK Borongloe Kecamatan Bontomarannu)

Keterangan	Nilai
Jumlah pelanggan total	6.351 sambungan
Pelanggan aktif	5.410 sambungan
Pelanggan nonaktif	941 sambungan
Golongan terbesar	Rumah Tangga III B = 3.825 sambungan
Total volume distribusi (Des 2024)	154.688 m ³ /bln
Produksi IPA Borongloe (Jan 2025)	210 liter/detik = 544.320 m ³ /bln
Volume distribusi ke pelanggan (Jan 2025)	481.237 m ³ /bln
Kehilangan air (NRW)	± 63.083 m ³ /bln (≈ 11,6 %)
Rata-rata konsumsi per pelanggan	± 28,6 m ³ /bln (≈ 0,95 m ³ /hari)

Untuk Informasi tekanan minimum dan maksimum standar pelayanan didapatkan dari literatur dan pedoman yaitu standar nasional Indonesia (SNI) yang membahas atau mengkaji regulasi tentang tekanan minimum dan standar pelayanan pada pipa

Tabel 5 Tekanan Minimum dan Standar Pelayanan Pada Jaringan Distribusi PDAM Kecamatan Bontomarannu

Parameter	Kriteria Ideal	Sumber Standar
Tekanan minimum	≥ 20 meter (2 atm)	SNI 7507:2011
Tekanan maksimum	≤ 60 meter (6 atm)	SNI 7507:2011
Debit aliran	Sesuai kebutuhan	Perhitungan beban pemakaian
Kecepatan aliran	0.6 – 2.5 m/s	Literatur teknik air minum

2.5 Tahapan Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini dirancang secara sistematis sebagai berikut:



i Literatur

engkaji teori-teori terkait sistem distribusi air seperti rumus kehilangan energi, dan perhitungan hidraulik.

2.5.2 Pengumpulan Data

Mengumpulkan data primer dan sekunder yang telah dijelaskan seperti teknis jaringan pipa, kondisi topografi, serta data kebutuhan air dari instansi terkait. Yang selanjutnya akan di olah kedalam aplikasi. Data yang diperoleh disatukan dalam bentukan file sebagai acuan untuk meneliti dan memodelkan jaringan pipa untuk mengetahui konisi distribusi jaringan pipa yang terjadi sehingga dapat di bandingkan nantinya.

2.5.3 Pemodelan Jaringan di EPANET

Menginput seluruh data jaringan ke dalam aplikasi EPANET, meliputi:

1. Junction (titik sambungan)

Dalam aplikasi EPANET, junction atau titik sambungan merupakan elemen penting dalam sistem jaringan distribusi air bersih yang berfungsi sebagai titik pertemuan antara dua atau lebih pipa serta sebagai tempat terjadinya konsumsi air oleh pengguna. Setiap junction mewakili lokasi di mana air dapat keluar dari sistem, misalnya ke rumah tangga, gedung, atau fasilitas umum. Selain sebagai titik distribusi, junction juga menjadi bagian dari perhitungan hidraulik sistem, karena pada titik inilah dilakukan evaluasi terhadap tekanan (head) dan debit aliran. Dalam perhitungan EPANET, setiap junction memiliki data input seperti elevasi (ketinggian tanah terhadap muka laut) dan kebutuhan air (demand) dalam satuan liter per detik (L/s) atau meter kubik per hari (m³/hari). Berdasarkan data tersebut, EPANET akan menghitung tekanan aktual di tiap junction dengan mempertimbangkan kondisi sistem seperti panjang pipa, diameter, kekasaran, dan aliran yang masuk atau keluar. Hasil simulasi ini sangat penting dalam menentukan apakah sistem distribusi mampu memberikan tekanan yang memadai di setiap titik layanan sesuai standar teknis yang berlaku. Dengan demikian, junction dalam EPANET tidak hanya berperan sebagai simpul geometri, tetapi juga sebagai pusat analisis kinerja hidraulik dari sistem perpipaan secara keseluruhan.(Alac, 2008)



Pipa (panjang, diameter)

Dalam konteks EPANET, pipa adalah komponen utama dalam sistem jaringan distribusi air yang berfungsi sebagai saluran pengalir air dari satu titik ke titik lain dalam jaringan, seperti dari reservoir ke junction, antara junction satu ke lainnya, atau ke elemen seperti pompa dan katup. Pipa dalam EPANET digambarkan sebagai penghubung antar node (simpul), yang merepresentasikan aliran air melalui jaringan secara fisik dan matematis. Secara hidraulik, pipa berperan dalam mentransmisikan debit dan memengaruhi besarnya kehilangan energi (headloss) akibat gesekan dan gangguan aliran. Oleh karena itu, dalam simulasi EPANET, setiap pipa harus memiliki parameter teknis, seperti:

- Diameter dalam pipa (D), yang memengaruhi kapasitas alir dan kecepatan fluida
- Panjang pipa (L), digunakan untuk menghitung headloss
- Koefisien kekasaran (roughness coefficient, misalnya Hazen-Williams C atau Darcy- Weisbach ϵ)
- Status aliran (aktif/tidak, atau buka/tutup)

Dengan memasukkan parameter-parameter tersebut, EPANET mampu menghitung kecepatan aliran, debit aktual, dan kehilangan tekanan (head loss) yang terjadi di sepanjang pipa menggunakan rumus-rumus hidraulik seperti Hazen-Williams atau Darcy-Weisbach. Fungsi pipa dalam EPANET sangat vital karena dari sinilah model dapat menggambarkan bagaimana air mengalir, seberapa besar tekanan yang hilang di setiap jalur, dan seberapa efektif jaringan distribusi bekerja dalam memenuhi kebutuhan pengguna di setiap junction. Dengan kata lain, pipa dalam EPANET tidak hanya berfungsi sebagai penghubung antara simpul, tetapi juga sebagai komponen analitik untuk mengevaluasi efisiensi dan keandalan sistem distribusi air bersih secara keseluruhan. (Alac, 2008)

3. Reservoir/tangki

Reservoir merupakan komponen jaringan yang berperan sebagai sumber utama air bersih dengan permukaan air yang dianggap tetap (konstan) sepanjang waktu simulasi. Reservoir mewakili sumber-sumber air seperti danau, sungai, waduk, atau menara air, dan berfungsi sebagai titik awal aliran dalam sistem distribusi. Nilai elevasi atau head pada reservoir menjadi acuan dalam perhitungan tekanan hidraulik di seluruh jaringan. Karena head-nya tetap, reservoir berfungsi



ebagai kondisi batas (boundary condition) yang menentukan seberapa besar energi potensial (tekanan) yang tersedia untuk mendorong air ke seluruh sistem. Air akan mengalir dari reservoir menuju titik-titik lain dalam jaringan, seperti junction dan tangki, melalui pipa distribusi berdasarkan perbedaan tekanan atau elevasi. Selain itu, reservoir juga berfungsi sebagai penyeimbang debit dalam sistem, di mana aliran keluar dari reservoir akan menyesuaikan dengan kebutuhan (demand) yang terjadi di jaringan hilir. Oleh karena itu, keberadaan reservoir sangat penting dalam pemodelan sistem distribusi air, karena memengaruhi performa hidraulik jaringan secara keseluruhan dan memastikan kontinuitas pasokan air ke seluruh konsumen. (Alac, 2008)

4. Data konsumsi dan kondisi boundary

Dalam pemodelan jaringan distribusi air menggunakan EPANET, data konsumsi atau demand adalah informasi mengenai jumlah air yang dibutuhkan di setiap titik layanan (junction), yang menjadi dasar dalam menentukan distribusi aliran dan tekanan di seluruh jaringan. Sementara itu, data boundary atau kondisi batas adalah data yang bersifat tetap atau ditentukan sejak awal, seperti elevasi permukaan reservoir atau tekanan keluaran pompa, yang berfungsi sebagai titik acuan dalam perhitungan hidraulik. Kedua jenis data ini sangat penting karena tanpa data konsumsi, jaringan tidak memiliki tujuan distribusi air, dan tanpa data boundary, sistem tidak memiliki sumber atau acuan tekanan. Oleh karena itu, keduanya harus ditentukan dengan akurat agar simulasi dalam EPANET menghasilkan analisis jaringan yang realistis dan dapat diandalkan. (Alac, 2008)

2.5.4 Simulasi Hidraulik

Menjalankan simulasi untuk mendapatkan hasil:

1. Distribusi tekanan

Distribusi tekanan dalam simulasi hidraulik adalah sebuah analisis penting yang menggambarkan penyebaran nilai tekanan (head) di seluruh elemen titik jaringan seperti junction, tangki, dan reservoir selama periode simulasi. EPANET, sebagai perangkat lunak analisis hidraulik andal, menghitung tekanan aktual di setiap junction berdasarkan solusi numerik atas persamaan kontinuitas massa dan persamaan energi (head loss), yang mempertimbangkan karakteristik fisik seperti, diameter, dan kekasaran pipa, serta parameter jaringan



ainnya . Perangkat lunak ini menggunakan pendekatan numerik efisien metode Gradient (Newton–Raphson/Global Gradient Algorithm) untuk menyelesaikan persamaan aliran dan headloss secara iteratif, sehingga mampu menghasilkan nilai tekanan pada setiap node secara konsisten pada berbagai kondisi operasi . Analisis distribusi tekanan pada jaringan distribusi air bertujuan untuk menilai apakah setiap titik layanan memenuhi batas tekanan *minimum* dan *maksimum* sesuai standar teknis. Titik dengan tekanan rendah (biasanya di bawah 10 m) dapat menyebabkan gangguan pasokan, sedangkan tekanan tinggi (mencapai di atas 60 m) berisiko terhadap kebocoran dan kerusakan pipa. Dengan memperoleh profil tekanan spasial, insinyur dapat mengidentifikasi titik kritis, meninjau ulang posisi pompa atau tangki, serta mendesain ulang jaringan agar distribusi tekanan menjadi lebih merata dan andal .(EPANET, 2020)

2. Debit aliran

Dalam simulasi hidraulik jaringan distribusi air, debit aliran (flow rate) merupakan parameter utama yang menunjukkan volume air yang mengalir melalui suatu pipa per satuan waktu, umumnya dinyatakan dalam liter per detik (L/s) atau meter kubik per detik (m^3/s). Dalam perangkat lunak EPANET, debit aliran dihitung melalui pemecahan persamaan kontinuitas massa dan persamaan energi yang berlaku pada setiap node dan pipa di jaringan. Perhitungan ini mempertimbangkan parameter teknis seperti diameter pipa, panjang, kekasaran dalam pipa, elevasi node, serta kebutuhan air (demand) yang terdapat di setiap junction . EPANET menggunakan algoritma numerik seperti Global Gradient Algorithm untuk mencari solusi iteratif terhadap aliran dan head loss di jaringan, sehingga nilai debit aktual di setiap pipa dapat ditentukan secara akurat . Debit aliran dalam simulasi hidraulik sangat penting karena menentukan jumlah air yang tersedia untuk setiap titik konsumsi dan juga memengaruhi nilai kehilangan tekanan (headloss) dalam pipa. Selain itu, informasi debit juga berguna untuk menilai arah aliran air, memverifikasi kapasitas pipa, serta merancang sistem distribusi yang efisien dan bebas dari overpressure atau underpressure. Dalam kondisi operasional tertentu, EPANET juga dapat menampilkan perubahan debit berdasarkan waktu (extended-period simulation), sehingga memungkinkan analisis unjuk kerja jaringan dalam kondisi harian atau skenario darurat. Oleh karena itu, debit aliran menjadi salah satu output kunci dalam simulasi hidraulik untuk memastikan bahwa sistem mampu mendistribusikan air secara



ontinu dan sesuai kebutuhan di seluruh jaringan (EPANET, 2020) .
 Berikut contoh tabel dari debit aliran dari EPANET :

Dalam simulasi hidraulik menggunakan EPANET, kehilangan energi (head loss) merujuk pada penurunan energi potensial air yang terjadi sepanjang jalur pipa akibat gesekan antara fluida dan dinding pipa serta efek komponen tambahan seperti belokan atau katup. Head loss ini dihitung oleh EPANET berdasarkan salah satu persamaan hidraulik—umumnya Hazen-Williams atau Darcy-Weisbach—yang memasukkan parameter seperti panjang pipa, diameter, kekasaran permukaan, dan debit aliran. Nilai head loss pada setiap segmen pipa selanjutnya digunakan dalam penyelesaian numerik persamaan kontinuitas dan persamaan energi untuk seluruh jaringan, sehingga perangkat lunak dapat menentukan distribusi tekanan dan aliran yang realistis. Akurasi perhitungan head loss sangat penting karena memengaruhi desain pompa, identifikasi titik tekanan rendah, dan evaluasi efisiensi energetik sistem distribusi air.(EPANET, 2020)

3. Identifikasi titik bermasalah (tekanan rendah atau kelebihan tekanan)

Dalam EPANET, identifikasi titik bermasalah dilakukan dengan menganalisis hasil simulasi tekanan di setiap junction dan membandingkannya dengan batas tekanan teknis biasanya ambang bawah sekitar 20 m dan ambang atas sekitar 60 m head. Setelah menyelesaikan simulasi steady-state atau extended-period, perangkat lunak akan menghasilkan peta spasial nilai tekanan pada seluruh node; titik-titik di mana tekanan berada di bawah ambang minimal dikategorikan sebagai “tekanan rendah”, sedangkan yang melebihi ambang maksimal dianggap “kelebihan tekanan”. Proses ini memungkinkan insinyur untuk menemukan lokasi kritis di jaringan misalnya daerah elevated yang kurang pasokan head atau area dekat pompa yang overpressure—tanpa perlu pengukuran lapangan yang ekstensif. Dengan mengetahui titik-titik bermasalah tersebut, perencanaan jaringan dapat dioptimalkan melalui penyesuaian diameter pipa, penambahan pompa booster atau pressure-reducing valve, dan perubahan konfigurasi loop, sehingga kontinuitas pasokan dan keandalan sistem distribusi air akan meningkat serta risiko kebocoran atau kegagalan layanan dapat diminimalkan.(EPANET, 2020)



uasi dan Analisis

enganalisis hasil simulasi untuk mengevaluasi performa jaringan ...sisting

2. Membandingkan hasil dengan standar teknis pelayanan air minum (Permen PUPR atau SNI 7507)

2.5.6 Penyusunan Laporan

Merangkum seluruh proses dalam laporan skripsi yang terstruktur. Diawali dari penulisan pendahuluan hingga lampiran dan juga penulisan kelengkapan tugas akhir yang merujuk pada Pedoman Penulisan Tugas akhir Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.