

**EVALUASI JARINGAN PIPA AIR BERSIH PDAM TIKALA KABUPATEN
TORAJA UTARA**



**NOVRAIN ALLO D. L.
D011 17 1319**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



TUGAS AKHIR

**EVALUASI JARINGAN PIPA AIR BERSIH PDAM TIKALA
KABUPATEN TORAJA UTARA**

**EVALUATION OF PDAM TIKALA'S CLEAN WATER PIPE NETWORK
NORTH TORAJA DISTRICT**

**NOVRAIN ALLO D. L.
D011 17 1319**



**PROGRAM SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**EVALUASI JARINGAN PIPA AIR BERSIH PDAM TIKALA
KABUPATEN TORAJA UTARA**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Sarjana Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

NOVRAIN ALLO D. L.
D011 17 1319

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI***Evaluasi Jaringan Pipa Air Bersih PDAM Tikala Kabupaten
Toraja Utara***

Disusun dan diajukan oleh

Novrain Allo Datu Linggi
D011171319

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 31 Juli 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr.Eng. Ir. Farouk Maricar, MT.
NIP: 19641020 199103 1 002

Pembimbing Pendamping,



Ir.Silman Pongmanda, ST., MT.
NIP.19721010 200003 1 001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Novrain Allo Datu Linggi
NIM : D011 17 1319
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul

EVALUASI JARINGAN PIPA AIR BERSIH PDAM TIKALA KABUPATEN TORAJA UTARA

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 10 Oktober 2024

Yang Menyatakan

A 10,000 Rupiah Indonesian postage stamp with a QR code and a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'METERAI KELESTARIAN 10000 REPUBLIK INDONESIA'.

Novrain Allo Datu Linggi

KATA PENGANTAR

Puji syukur patut kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan jalan dan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Tugas Akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian di Kabupaten Toraja Utara dengan judul "Efisiensi Dimensi Reservoir Air Bersih Yang Menggunakan Sistem Gravitasi". Penulis pada kesempatan ini ingin menyampaikan terima kasih yang tulus dan penghargaan kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Isran Ramil, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M. Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, M.T., selaku dosen pembimbing I dan Bapak Silman Pongmanda, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan serta arahan dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh Dosen, Staf dan Karyawan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
5. Direksi, Manajemen dan seluruh Staf Perusahaan Umum Daerah Air Minum Kabupaten Toraja Utara yang memberikan izin untuk melakukan penelitian dan membantu penulis selama penelitian.
6. Kepada semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Namun pasti masih ada kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Untuk itu mohon maaf jika ada kata yang kurang berkenan dan segala saran maupun kritikan sangat diharapkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya yang lebih baik. Harapan penulis, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Terima Kasih.

Gowa, 10 Oktober 2024

Novrain Allo Datu Linggi

ABSTRAK

Dalam Undang-Undang RI No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air, salah satu pokok bahasan yang diatur di dalamnya adalah pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) di Indonesia. Sejauh ini, pengelolaan air minum di Indonesia ditangani oleh PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum), namun dalam perjalanannya, tingkat pelayanan yang diberikan kepada masyarakat secara rata-rata masih tergolong rendah.

Tujuan penelitian dari tugas akhir ini untuk mengetahui kondisi eksisting daerah layanan PDAM Kabupaten Tikala khususnya di Kecamatan Tikala, Menghitung kebutuhan air bersih, kapasitas reservoir, dan total debit air bersih yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan air bersih di Kecamatan Tikala pada tahun 2030 mendatang. Pada penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus dan bersifat deskriptif, dengan tujuan untuk dapat mengetahui apakah evaluasi program pemenuhan kebutuhan air bersih di kecamatan Tikala sudah dapat terpenuhi atau belum. Data yang dipakai dalam penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder, dimana data primer berupa data yang melalui wawancara langsung kepada pengurus PDAM, sedangkan data sekunder berupa data jumlah penduduk Kabupaten Toraja Utara khususnya di Kecamatan Tikala dan data kondisi eksisting Kabupaten Toraja Utara. Dalam tugas akhir ini, diprediksikan kebutuhan air bersih untuk wilayah pelayanan PDAM Toraja utara khususnya Kecamatan Tikala pada tahun 2030 dan menganalisis ketersediaan air bersih hingga tahun 2030 dengan acuan data sekunder dari PDAM Toraja Utara, sedangkan dalam perhitungannya menggunakan metode Aritmetika.

Hasil kajian menunjukkan bahwa kebutuhan air bersih di wilayah Kecamatan Tikala untuk tahun 2030 sebanyak 16.815 jiwa dengan kebutuhan air total harian rerata sebanyak kebutuhan air bersih daerah pelayanan Kecamatan Tikala sebesar 22,57 liter/detik. Kebutuhan air bersih daerah pelayanan unit desa Tikala tahun 2030 menurut prediksi masing-masing jenis pelanggan adalah 13,5244 Liter/detik, kebutuhan harian maksimum 16,2293 Liter/detik, dan debit pada jam puncak 20,2866 liter/detik. Cakupan pelayanan PDAM pada tahun 2030 baru mencapai 56,22% untuk Kecamatan Tikala dan >100% untuk daerah pelayanan unit desa Tikala, sehingga cakupan pelayanan masih di bawah standar nasional yaitu 80% dari total jumlah penduduk.

Kata Kunci: Aritmetika, Kapasitas Reservoir, dan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM)

ABSTRACT

In RI Law No. 7 of 2004 on Water Resources, one of the subjects regulated in it is the development of Drinking Water Supply System (SPAM) in Indonesia. So far, drinking water management in Indonesia is handled by PDAM, but on its journey, the level of services provided to the population on average is still very low.

The research objective of this final task is to find out the existing conditions of the PDAM service area of Tikala district in particular in Tikala Prefecture, Calculating clean water needs, reservoir capacity, and total clean water drainage needed to meet the clean water requirements of the Tikala prefecture by the coming year 2030. This study uses a case study approach and is descriptive, with the aim of being able to find out whether the evaluation of the clean water requirements program in the district of Tikala has been fulfilled or not. The data used in this research are primary and secondary data, where primary data is data that is through direct interviews to the PDAM manager, whereas secondary Data is data of the population of North Toraja district in particular in Tikala district and data on the existing conditions of NorthToraja District. In this final task, it predicted the need for clean water for the northern Toraja PAM service area in particular the Tikala district by 2030 and analyzed the availability of clean water by 2030 using the secondary data reference from the Northern PAM, while in its calculation using the Arithmetic method.

The results of the study showed that the need for clean water in the district of Tikala district for the year 2030 is 16.815 people with the total daily need for water as much as the needs of clean water of the districts of service Tikala of 22.57 liters/second. The need for pure water area of service unit of village Tikala in 2030 according to the forecast of each type of customer is 13.5244 liters /second, the maximum daily need 16.2293 Liters / sec, and the discharge at peak hours 20.2866 litres / sec. The coverage of PDAM services by 2030 will only reach 56.22% for Tikala district and >100% for the service area of Tikala village unit, so that the service coverage is still below the national standard of 80% of the total population.

Keywords: Arithmetic, Reservoir Capacity, and Drinking Water System (SPAM)

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan penelitian	2
1.4 Manfaat penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Definisi air.....	4
2.2 Sumber air bersih	4
2.3 Kebutuhan air bersih.....	5
2.4 Sistem penyediaan air minum	6
2.5 Persyaratan dalam penyediaan air bersih	8
2.6 Proyeksi jumlah penduduk.....	10
2.7 Kehilangan air (kebocoran air).....	11
2.8 Sistem pengaliran	11
2.9 Sistem jaringan distribusi.....	12
2.10 Sistem jaringan distribusi.....	13
2.11 Teori yang digunakan dalam analisis data.....	15
2.12 Teori yang digunakan dalam analisis data.....	19
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.2.1 Kerangka berpikir.....	22
3.2.2 Data penunjang	22
3.2.1 Studi literatur.....	22
3.2.2 Data primer	22
3.2.3 Data sekunder	22
3.2.3 Gambaran umum lokasi penelitian	22
3.2.4 Pengolahan data.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Kondisi Eksisting Layanan PDAM Tikala	27
4.2 Data Hasil Penelitian	28
4.2.1 Data Penduduk Wilayah Pelayanan Unit Desa Tikala	28
4.2.2 Data Pelanggan PDAM Wilayah Pelayanan Unit Desa Tikala	29
4.3 Analisis Data.....	31

4.3.1	Prediksi Jumlah Penduduk	31
4.4	Perhitungan Kebutuhan Air Bersih.....	35
4.4.1	Kebutuhan Domestik.....	35
4.4.2	Kebutuhan Non Domestik.....	35
4.5	Kehilangan Air	35
4.6	Fluktuasi Kebutuhan Air Bersih.....	35
4.7	Analisa Jaringan Pipa dengan Program Waternet.....	46
4.7.1	Data Masukan.....	46
4.7.2	Proses Simulasi Program WaterNet	47
4.8	Hasil Output Waternet	47
4.9	Pembahasan	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		56

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Standar kebutuhan air bersih	6
Tabel 2. Tingkat konsumsi/pemakaian air non domestik.....	6
Tabel 3. Unsur fungsional dalam sistem penyediaan air bersih	8
Tabel 4. Koefisien kekasaran pipa Hazen-Williams	17
Tabel 5. Diameter kekasaran (e) beberapa bahan (material) pipa baru.....	18
Tabel 6. Statistik geografi Kabupaten Toraja Utara tahun 2021	23
Tabel 7. Kondisi Eksisting Layanan PDAM Tikala	27
Tabel 8. Data Penduduk Kecamatan Tikala.....	29
Tabel 9. Data Penduduk Daerah Pelayanan Unit Tikala	29
Tabel 10. Data Pelanggan PDAM Wilayah Pelayanan UD. Tikala	29
Tabel 12. Data Penduduk Kecamatan Tikala selama 5 tahun terakhir	31
Tabel 13. Hasil Perhitungan Jumlah Penduduk	33
Tabel 14. Pertambahan Jumlah Penduduk Kecamatan Tikala	34
Tabel 15. Proyeksi Pertumbuhan Penduduk Hingga Tahun 2032 di Kec. Tikala....	34
Tabel 16. Koefisien Tingkat Pemakaian Air Setiap Jam	36
Tabel 17. Perhitungan Proyeksi Kebutuhan Air Bersih Kecamatan Tikala Tahun 2022-2032	38
Tabel 18. Kebutuhan Air Tiap Node Tahun Rencana 2032.....	41
Tabel 19. Elevasi Node dan Debit Konsumsi	44
Tabel 20. Panjang dan Diameter Pipa	45
Tabel 21. Energi Absolut dan Energi Relatif	51
Tabel 22. Debit dan Kehilangan Energi.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skematik sistem penyediaan air minum.....	7
Gambar 2. Sistem cabang	12
Gambar 3. Sistem gridiron	13
Gambar 4. Sistem melingkar (<i>loop</i>)	13
Gambar 5. Saluran pipa dengan diameter berbeda	15
Gambar 6. Persamaan kontinuitas pada pipa bercabang.....	15
Gambar 7. Garis energi dan hidrolis pada zat cair.....	16
Gambar 8. Diagram Moody.....	18
Gambar 9. Peta Kabupaten Toraja Utara (PETA TEMATIK INDONESIA, 2015)....	24
Gambar 10. Lokasi penelitian (Linggi, 2022)	25
Gambar 11. Langkah pengolahan data (Linggi, 2022).....	26
Gambar 12. Peta Jaringan Distribusi Air Bersih Kecamatan Tikala.	30
Gambar 13. Profil Ketinggian atau Elevasi Tiap Node.....	31
Gambar 15. Arah Aliran Jaringan Distribusi Air Bersih Kecamatan Tikala.....	48
Gambar 16. Energi Relatif	49
Gambar 17. Energi Absolut.....	49
Gambar 18. Gambar Discharge	50
Gambar 19. Gambar Demand	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Air merupakan kebutuhan penting bagi kelangsungan hidup organisme. Oleh karena itu, aksesibilitas terhadap air yang terjangkau dan ramah lingkungan merupakan aspek penting bagi setiap orang. Permintaan air di berbagai wilayah menunjukkan variabilitas dan fluktuasi, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti pola iklim, strategi pembangunan daerah, dan tantangan lingkungan.

Pertambahan jumlah penduduk, ditambah dengan banyaknya kegiatan yang dilakukan, memerlukan peningkatan baik dalam jumlah maupun kualitas sumber daya air. Manusia membutuhkan air yang tidak terkontaminasi untuk berbagai keperluan, termasuk kebutuhan sehari-hari, operasi industri, usaha ekonomi, dan aktivitas lainnya. Mengingat pentingnya peran air dalam menunjang keberadaan manusia, ditambah dengan ketersediaannya yang terbatas di lingkungan alam, maka penerapan strategi pengelolaan dan pemanfaatan yang efisien dan efektif menjadi penting.

Menjamin akses terhadap air minum merupakan aspek krusial dan prioritas utama dalam perencanaan wilayah. Indonesia, sebagai negara maritim dan negara berkembang, tidak dapat dipisahkan dari permasalahan pemerataan air minum bagi penduduknya. Saat ini, penyediaan air minum menjadi prioritas utama yang dijabarkan dalam RPJMN 2020 - 2024. Pemerintah telah menetapkan target *Sustainability Development Goal* (SDGs) di bidang air minum pada tahun 2030. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa semua masyarakat memiliki akses yang setara dan adil terhadap air minum yang bersih dan murah, dengan akses yang memuaskan dan terjangkau. Penyediaan air bersih merupakan kebutuhan dan hak penting masyarakat sehingga memerlukan keterlibatan instansi pemerintah baik di tingkat daerah maupun pusat. Keberadaan air yang tidak terkontaminasi merupakan faktor penting dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat, karena ketersediaan air bersih diharapkan dapat memberikan dampak positif terhadap kesehatan masyarakat secara keseluruhan.

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air Republik Indonesia, diamanatkan bahwa pengelolaan sumber daya air secara menyeluruh dilakukan berdasarkan wilayah sungai, yang mencakup wilayah hulu dan hilir. Oleh karena itu, PDAM berfungsi sebagai badan pemerintah daerah yang bertanggung jawab memberikan pelayanan dan mengkoordinasikan inisiatif kesejahteraan masyarakat dalam industri air minum. Namun demikian, hingga saat ini rata-rata tingkat pelayanan yang diberikan kepada masyarakat masih cukup rendah.

Penyediaan air bersih kepada konsumen dapat dilakukan melalui berbagai cara, antara lain transmisi langsung dari sumber ke jaringan konsumen atau melalui reservoir dan selanjutnya dialirkan melalui jaringan distribusi. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk memastikan pengiriman air bersih ke seluruh pelanggan, dengan tetap menjaga fokus pada pertimbangan kualitas, kuantitas, dan tekanan. Air.

Namun kenyataannya, air yang diminum klien sering kali berkurang atau bahkan tidak ada sama sekali. Permasalahan ini muncul ketika pengoperasian jaringan distribusi terganggu atau ketika banyak komponen jaringan distribusi mengalami kerusakan akibat sumber teknis atau non-teknis.

Efisiensi operasional sistem distribusi air bersih di Kabupaten Toraja Utara masih belum optimal. Hanya sebagian kecil masyarakat di Kecamatan Tikala yang memanfaatkan layanan PDAM, dan konsumen tertentu di wilayah tertentu tidak memiliki akses terhadap air sepanjang waktu. Jaringan distribusi air bersih PDAM Kecamatan Tikala kurang memperhatikan kualitas berbagai fasilitas pendukung dan komponen jaringan. Misalnya saja jaringan pipa distribusi yang tidak bersih atau rusak, sehingga mengakibatkan pengoperasiannya tidak optimal. Untuk menambah wawasan mengenai pelayanan PDAM, maka perlu dilakukan kajian komprehensif bertajuk "**EVALUASI JARINGAN PIPA AIR BERSIH PDAM TIKALA KABUPATEN TORAJA UTARA**". Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang akurat mengenai alokasi air minum di Kecamatan Tikala.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah yang akan dikaji dalam tugas akhir ini ialah:

1. Bagaimana kondisi eksisting layanan PDAM di Kecamatan Tikala?
2. Berapa kebutuhan air bersih secara keseluruhan yang dibutuhkan Kecamatan Tikala pada tahun 2030?
3. Bagaimana kapasitas sistem jaringan distribusi air bersih di Kecamatan Tikala?

1.3 Tujuan penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan penelitian yang dapat diambil dan dijadikan acuan dalam mengkaji tugas akhir ini ialah:

1. Menganalisis kondisi eksisting layanan PDAM di Kecamatan Tikala.
2. Mengidentifikasi kebutuhan air bersih penduduk Kecamatan Tikala di masa yang akan datang (tahun 2030).
3. Menganalisis kapasitas siste jaringan distribusi air bersih Kecamatan Tikala.

1.4 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi dan referensi data serta berkontribusi terhadap Pembangunan system penyediaan air minum di Kecamatan Tikala.

1.5 Ruang Lingkup

Dalam penulisan ini, penulis membatasi ruang lingkup untuk lebih mengenal objek yang akan diteliti mengingat luasnya permasalahan yang akan diteliti dan keterbatasan waktu penulis, dengan maksud agar masalah yang diteliti tidak menyimpang dari tujuan semula dan tetap relevan dengan judulnya.

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ruang Lingkup Wilayah

Ruang lingkup wilayah atau lokasi penelitian dalam hal ini adalah Kabupaten Toraja Utara khususnya wilayah cakupan PDAM Kecamatan Tikala

2. Ruang Lingkup Pembahasan

Penelitian ini untuk menganalisis kebutuhan air bersih di Kecamatan Tikala dengan menggunakan data jumlah penduduk dan diproyeksikan untuk 20 tahun ke depan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi air

Air merupakan sumber daya alam penting yang memainkan peran penting dalam mempertahankan keberadaan manusia dan memfasilitasi banyak proses ekologi dalam lingkungan. Kebutuhan manusia terhadap air terus meningkat dari waktu ke waktu, tidak hanya didorong oleh pertumbuhan populasi, namun juga oleh meningkatnya intensitas dan keragaman kebutuhan air (Silalahi, 2002).

Air minum adalah air yang layak dikonsumsi sehari-hari dan dapat dikonsumsi setelah melalui proses perebusan. Air bersih mengacu pada air yang memenuhi kriteria sistem penyaluran air minum. Persyaratan tersebut di atas berkenaan dengan mutu air yang meliputi aspek fisika, kimia, biologi, dan radiologi. Persyaratan ini dirancang untuk memastikan bahwa konsumsi air tidak menimbulkan dampak buruk (Departemen Kesehatan RI, 2009).

2.2 Sumber air bersih

Sumber air merupakan elemen penting dalam sistem penyediaan air bersih, karena sistem tidak dapat beroperasi tanpa sumber air tersebut. Hal ini menunjukkan adanya beberapa sumber air yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber air minum, seperti yang ditunjukkan oleh (Asmadi & Subaris, 2011).

1. Air laut

Salinitas air laut disebabkan oleh adanya garam natrium klorida (NaCl). Konsentrasi NaCl dalam air laut kira-kira 3%. Dalam keadaan seperti ini, air laut tidak memenuhi kriteria untuk dikonsumsi.

2. Air atmosfer

Tidak disarankan untuk langsung mengonsumsi air hujan sebagai air minum setelah hujan mulai turun, karena mungkin masih mengandung banyak sedimen. Air hujan bersifat korosif, terutama pada pipa distribusi dan tangki penampungan, sehingga mempercepat proses korosi atau pembentukan karat. Selain itu, air hujan memiliki sifat lembut sehingga dapat menghambat efektivitas sabun.

3. Air permukaan

Air permukaan mengacu pada curah hujan yang bergerak melintasi permukaan bumi. Biasanya, air di permukaan bumi terkontaminasi seiring pergerakannya, seringkali karena adanya kotoran, sisa-sisa kayu, dedaunan, limbah industri, dan beberapa polutan lainnya. Air permukaan dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori: air sungai dan air rawa.

Air permukaan adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan curah hujan dan bentuk curah hujan lainnya yang mengalir di permukaan bumi. Biasanya, air di permukaan bumi menjadi tercemar saat mengalir, seringkali karena adanya tanah, sisa-sisa kayu, dedaunan, limbah industri, dan beberapa kontaminan lainnya. Air permukaan dapat dikategorikan menjadi dua jenis: air sungai dan air rawa.

Air permukaan yang biasa dimanfaatkan antara lain air sungai, air waduk, dan air yang ditampung langsung dari sumber alam seperti air baku waktu pengumpulan dan bangunan, yang umumnya disebut dengan "intake". Bangunan intake harus dilengkapi dengan tindakan untuk mencegah masuknya sampah atau partikel berukuran besar, seperti lumut, batang pohon, dedaunan, dan plastik.

4. Air tanah

Air tanah mengacu pada air yang terletak di bawah permukaan bumi pada zona jenuh, dimana tekanan yang diberikan oleh air sama dengan atau lebih besar dari tekanan yang diberikan oleh atmosfer. Air tanah sebagian besar berasal dari air hujan yang turun ke permukaan bumi, sebagian besar meresap ke dalam tanah dan menempati rongga-rongga atau bukaan-bukaan di dalam tanah. Kandungan airtanah dalam tanah dipengaruhi oleh struktur tanah, khususnya permeabilitasnya atau adanya lapisan air yang kedap air. Air tanah diklasifikasikan menjadi dua kategori:

- a. Air tanah dangkal, terjadi karena adanya proses peresapan air dari permukaan tanah, air dangkal ini pada umumnya berada pada kedalaman 15,0 m².
- b. Air tanah dalam, terdapat setelah lapis rapat air yang pertama. Pengambilan air tanah dalam tidak semudah air tanah dangkal karena harus menggunakan bor dan biasanya berada pada kedalaman 100-300 m².

5. Mata air

Mata air yaitu air tanah yang keluar dengan sendirinya ke permukaan tanah dengan hampir tidak dipengaruhi oleh musim, sedangkan kualitas dan kuantitasnya sama dengan air dalam. Berdasarkan keluarnya atau munculnya ke permukaan tanah terbagi atas:

- a. Rembesan, dimana air ke luar dari lereng-lereng.
- b. Umbul, dimana air keluar ke permukaan pada satu dataran.

2.3 Kebutuhan air bersih

Kebutuhan air mengacu pada jumlah air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari. Dalam skenario ini, kebutuhan air yang dipertimbangkan mencakup kebutuhan air domestik untuk keperluan rumah tangga. Selain itu, fasilitas umum mencakup penggunaan non-domestik seperti perkantoran, pendidikan, irigasi, industri, peternakan, dan keperluan lainnya. Kebutuhan air bersih ada dua kategori, yaitu kebutuhan air rumah tangga dan kebutuhan air non-domestik.

1. Kebutuhan domestic

Kebutuhan rumah tangga adalah kebutuhan yang diperlukan untuk memenuhi aktivitas rumah tangga sehari-hari, antara lain memasak, minum, berkebun, mencuci, dan fungsi lain yang sejenis. Sambungan rumah (SR) digunakan untuk menyalurkan air bersih ke setiap rumah tangga, sedangkan fasilitas umum (HU) digunakan untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat umum. Dua variabel penting yang harus diperhatikan untuk memenuhi kebutuhan air rumah tangga masyarakat adalah:

- a. Jumlah penduduk yang akan dilayani menurut target tahapan perencanaan sesuai dengan rencana cakupan pelayanan.
- b. Tingkat pemakaian air bersih diasumsikan tergantung pada kategori daerah dan jumlah penduduknya.

Tabel 1. Standar kebutuhan air bersih

No.	Kategori Kota	Jumlah Penduduk	Tingkat Pemakaian Air (liter/orang/hari)
1	Kota Metropolitan	>1.000.000	190
2	Kota Besar	500.000 – 1.000.000	170
3	Kota Sedang	100.000 – 500.000	150
4	Kota Kecil	20.000 – 100.000	130
5	Semi urban	3.000 – 20.000	100

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional, 2015)

2. Kebutuhan non domestik

Kebutuhan air non-domestik dibebankan pada layanan yang melayani kebutuhan air bersih di berbagai lembaga sosial (seperti masjid, gereja, panti asuhan, rumah sakit, dll.). Kebutuhan air komersial muncul di sektor-sektor seperti industri, pertanian, institusi, perkantoran, pariwisata, dll. Jumlah air yang dialokasikan untuk penggunaan non-domestik ditentukan sebesar 20% dari jumlah yang dialokasikan untuk keperluan perumahan.

Tabel 2. Tingkat konsumsi/pemakaian air non domestik

No	Non rumah tangga (fasilitas)	Tingkat pemakaian air
1	Sekolah	10 liter/hari
2	Rumah sakit	200 liter/hari
3	Puskesmas	(0.5 – 1) m ³ /unit/hari
4	Peribadatan	(0.5 – 2) m ³ /unit/hari
5	Kantor	(1 – 2) m ³ /unit hari
6	Toko	(1 – 2) m ³ /unit/hari
7	Rumah makan	1 m ³ /unit/hari
8	Hotel/Losmen	(100 – 150) m ³ /unit/hari
9	Pasar	(6 – 12) m ³ /unit/hari
10	Industri	(0.5 – 2) m ³ /unit/hari
11	Pelabuhan/Terminal	(10 – 20) m ³ /unit/hari
12	SPBU	(5 – 20) m ³ /unit/hari
13	Pertamanan	25 m ³ /unit/hari

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional, 2015)

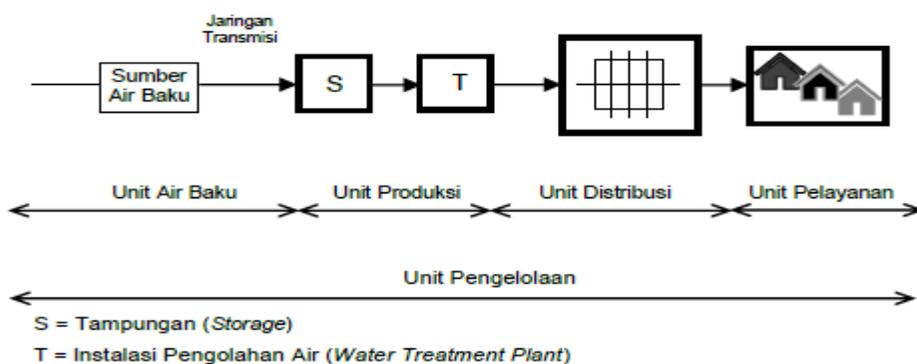
2.4 Sistem penyediaan air minum

Tujuan utama dari sistem distribusi air bersih yang terhubung langsung dengan pelanggan adalah untuk menyediakan air yang memenuhi ketentuan di seluruh

wilayah layanan. Reservoir distribusi, hidran kebakaran, sistem pemompaan (jika diperlukan), dan pipa serta perlengkapannya merupakan bagian dari sistem ini.

Air yang cukup harus tersedia dari sistem penyediaan air bersih untuk memenuhi semua kebutuhan. Sistem penyediaan air minum, menurut Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2005 tentang Pembangunan Sistem Penyediaan Air Minum, terdiri dari:

1. Unit air baku
2. Unit produksi
3. Unit distribusi
4. Unit pelayanan
5. Unit pengolahan



Gambar 1. Skematik sistem penyediaan air minum

1. Unit air baku. Hal ini dapat mencakup bangunan untuk menyimpan air, fasilitas untuk mengambil dan memanfaatkan sumber air, alat untuk mengukur ketinggian air, peralatan untuk memantau kualitas air, sistem untuk memompa air, dan bangunan serta peralatan untuk mengangkut air. Unit air baku berfungsi sebagai mekanisme untuk mengumpulkan dan memasok air yang tidak diolah. Air baku harus memenuhi persyaratan mutu yang ditetapkan untuk penyediaan air minum sebagaimana diamanatkan oleh peraturan perundang-undangan.
2. Unit Produksi. Prasarana dan fasilitas dimanfaatkan untuk mengubah air mentah menjadi air minum melalui metode fisik, kimia, dan biologi. Unit produksi terdiri atas bangunan dan peralatan pengolahan, peralatan operasional, peralatan pengukuran, peralatan monitoring, dan fasilitas penyimpanan air minum.
3. Unit distribusi. Sistem tersebut terdiri dari sistem pompa, jaringan distribusi, fasilitas penyimpanan, alat ukur, dan peralatan pemantauan. Unit distribusi harus memastikan pengukuran kuantitas air yang tepat, menjaga standar kualitas air yang tinggi, dan memastikan aliran air tidak terputus, menjamin pasokan air yang konstan 24 jam sehari.
4. Unit pelayanan. Terdiri dari sambungan perumahan, hidran kota, dan hidran kebakaran. Untuk mengukur volume air yang disediakan untuk setiap rumah

tangga dan hidran kebakaran, perlu dipasang meteran air sebagai alat pengukur. Untuk menjaga presisi, meter air harus menjalani pemeriksaan dan kalibrasi secara berkala oleh instansi yang berwenang.

5. Unit pengolahan. Terdiri dari pengolahan teknis dan non teknis. Teknis pengolahan meliputi pelaksanaan tugas operasional, serta pemeliharaan dan pengawasan unit bahan baku, unit produksi, dan unit distribusi. Manajemen non-teknis sebagian besar mencakup fungsi administratif dan terkait layanan.

Sistem penyediaan air minum harus mampu memenuhi kebutuhan air secara memadai. Sistem tersebut terdiri dari sumber air, fasilitas penyimpanan, fasilitas transmisi ke unit pengolahan, fasilitas pengolahan, fasilitas transmisi dan penyimpanan, serta fasilitas distribusi. Pada pengembangan sistem air bersih, hal yang penting adalah kuantitas dan kualitas air. Hal tersebut dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Unsur fungsional dalam sistem penyediaan air bersih

Unsur fungsional	Prinsip perencanaan (primer/sekunder)	Keterangan
Sumber Air	Kuantitas/Kualitas	Sumber-sumber air permukaan dari Sungai danau, mata air (air tanah)
Prasedimentasi	Kuantitas/Kualitas	Fasilitas yang dipergunakan untuk penyimpanan air permukaan biasanya terletak pada atau dekat sumber
Transmisi	Kuantitas/Kualitas	Fasilitas penyaluran air dari penyimpanan dan pengolahan.
Pengolahan	Kuantitas/Kualitas	Fasilitas untuk merubah kualitas air.
Transmisi dan penampungan	Kuantitas/Kualitas	Fasilitas penyaluran air pengolahan ke reservoir distribusi.
Distribusi	Kuantitas/Kualitas	Fasilitas pendistribusian air ke sambung konsumen.

Sumber: (Joko, 2010)

2.5 Persyaratan dalam penyediaan air bersih

1. Persyaratan kualitas

Persyaratan kualitas menggambarkan mutu dari air baku air bersih. Dalam Modul Gambaran Umum Penyediaan Dan Pengolahan Air Minum Edisi Maret 2003 hal. 4-5 dinyatakan bahwa persyaratan kualitas air bersih adalah sebagai berikut:

- a. Persyaratan kimiawi
Air bersih tidak boleh mengandung bahan-bahan kimia dalam jumlah yang melampaui batas. Beberapa persyaratan kimia antara lain: pH (derajat kesadahan), total solid, zat organik, kesadahan, CO₂ agresif, kalsium (Ca), besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), zink (Zn), chloride (Cl), nitrit, flourida (F), serta logam berat.
 - b. Persyaratan bakteriologis
Air bersih tidak boleh mengandung kuman pathogen dan parasitik yang mengganggu Kesehatan. Persyaratan bakteriologis ini ditandai dengan tidak ada nya bakteri E. coli atau fecal coli dalam air.
 - c. Persyaratan radioaktifitas
Persyaratan radioaktifitas mensyaratkan bahwa air bersih tidak boleh mengandung zat yang menghasilkan bahan-bahan yang mengandung radioaktif, seperti sinar alfa, beta dan gamma.
2. Persyaratan kuantitas (debit)
Jumlah kebutuhan penyediaan air bersih ditentukan oleh volume air baku yang tersedia. Hal ini menyiratkan bahwa air yang tidak diolah dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan berdasarkan kebutuhan spesifik suatu lokasi dan populasi yang ingin dilayani. Kebutuhan kuantitas tersebut dapat dinilai dengan mengevaluasi standar debit air bersih yang diberikan kepada pelanggan, berdasarkan jumlah kebutuhan air bersih. Kebutuhan air bersih setiap individu berbeda-beda berdasarkan faktor-faktor seperti lokasi geografis, latar belakang budaya, status ekonomi, dan luas wilayah perkotaan tempat mereka tinggal.
 3. Persyaratan kontinuitas
Untuk memperoleh air bersih diperlukan ketersediaan air baku yang berkesinambungan dengan fluktuasi debit yang konsisten, baik pada musim kemarau maupun musim hujan. Kontinuitas juga dapat merujuk pada ketersediaan air bersih yang tidak terputus, 24 jam sehari, atau kapan pun diperlukan. Namun demikian, kondisi optimal ini jarang dapat dicapai di banyak wilayah di Indonesia. Oleh karena itu, penilaian sejauh mana konsistensi penggunaan air dapat dilakukan dengan mengkaji perilaku konsumen dalam kaitannya dengan prioritas penggunaan air.
 4. Persyaratan tekanan
Pelanggan menginginkan sambungan air dengan tekanan yang cukup sehingga mereka selalu mendapatkan jumlah air yang tepat. Tekanan yang lebih tinggi diperlukan pada titik awal distribusi untuk mengatasi kehilangan tekanan akibat gesekan, yang bergantung pada kecepatan aliran, jenis pipa, diameter pipa, dan jarak jalur pipa untuk mempertahankan tekanan ultimat pipa di seluruh area servis. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam pendistribusian air adalah tekanan air yang tersisa agar tingkat pelayanan dapat maksimal dan menjangkau

seluruh wilayah layanan. Aturan DPU menyatakan bahwa air yang diberikan kepada pelanggan melalui pipa distribusi dan transmisi dimaksudkan untuk menjangkau mereka sejauh mungkin dengan tetap menjaga tekanan air minimal 10 mka atau 1 atm. Jumlah tekanan ini perlu dipertahankan, idealnya tersebar secara merata ke setiap pipa distribusi. Perlengkapan perpipaan (toilet, urinoir, keran, WC, dll.) dapat rusak karena pipa pecah akibat tekanan yang berlebihan. Selain itu, tekanan dijaga agar tidak turun terlalu rendah, karena dapat mencemari air saat melewati pipa distribusi (Agustina, 2007).

2.6 Proyeksi jumlah penduduk

Tingkat kebutuhan air bersih di masa depan ditentukan dengan menggunakan perkiraan jumlah penduduk. Data kependudukan, rata-rata pertumbuhan penduduk tahunan dalam persentase, dan rata-rata pertumbuhan penduduk selama lima tahun sebelumnya—yang diperoleh melalui studi data kependudukan—merupakan statistik yang diperlukan. Perkiraan populasi dapat dihitung dengan beberapa cara, termasuk yang berikut (Hartanto, 2010):

1. Metode aritmatik

Teknik matematis prakiraan penduduk membuat asumsi bahwa pertumbuhan penduduk tahunan akan konstan di masa depan. Metode proyeksi aritmatika menggunakan rumus berikut:

$$P_t = P_0(1 + rt) \text{ dengan } r = \frac{1}{t} \left(\frac{P_t}{P_0} - 1 \right) \quad (1)$$

Dimana:

P_t = jumlah penduduk pada tahun t ,

P_0 = jumlah penduduk pada tahun dasar,

r = laju pertumbuhan penduduk,

t = periode waktu antara tahun dasar dan tahun t (dalam tahun).

2. Metode geometrik

Teknik geometrik prakiraan penduduk didasarkan pada gagasan bahwa pertumbuhan penduduk akan mengikuti pola geometris, berdasarkan perhitungan bunga majemuk. Setiap tahun, laju pertumbuhan penduduk, atau laju pertumbuhan, dianggap konstan. Rumus metode geometri adalah:

$$P_t = P_0(1 + r)^t \text{ dengan } r = \left(\frac{P_t}{P_0} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \quad (2)$$

Dimana:

P_t = jumlah penduduk pada tahun t ,

P_0 = jumlah penduduk pada tahun dasar,

r = laju pertumbuhan penduduk,

t = periode waktu antara tahun dasar dan tahun t (dalam tahun).

3. Metode eksponensial

Metode eksponensial mencirikan pertumbuhan penduduk secara bertahap sepanjang tahun, berbeda dengan metode geometrik yang menyatakan pertumbuhan penduduk hanya terjadi satu kali dalam jangka waktu tertentu. Rumus yang digunakan dalam pendekatan eksponensial ini adalah:

$$P_t = P_0 e^{rt} \text{ dengan } r = \left(\frac{P_t}{P_0}\right)^{\frac{1}{t}} - 1 \quad (3)$$

P_t = jumlah penduduk pada tahun t ,

P_0 = jumlah penduduk pada tahun dasar,

r = laju pertumbuhan penduduk,

t = periode waktu antara tahun dasar dan tahun t (dalam tahun).

e = bilangan pokok sistem logaritma natural (ln) yang besarnya 2.7182818

4. Pemilihan metode proyeksi penduduk

Pemilihan metode proyeksi dapat dilakukan melalui analisis statistik, yaitu dengan menggunakan uji standar deviasi dan koefisien korelasi (r). Koefisien korelasi digunakan untuk menunjukkan kuatnya hubungan antara dua variabel, sehingga diinginkan nilai koefisien korelasi yang mendekati 1. Sebaliknya simpangan baku digunakan untuk membakukan data, sehingga nilai terkecil dipilih sebagai nilai simpangan baku (Yusuf, 2005).

2.7 Kehilangan air (kebocoran air)

Secara umum, kehilangan air atau kebocoran air yang terjadi pada suatu sistem jaringan distribusi air bersih dapat dibedakan menjadi dua faktor yaitu:

a. Kehilangan air akibat faktor teknis:

- Adanya lubang pada pipa atau sambungan
- Pipa pada jaringan distribusi pecah
- Pemasangan pipa yang kurang baik

b. Kehilangan air akibat faktor non teknis:

- Kesalahan pembacaan dan pencatatan meter air
- Kesalahan pemindahan dan pembuatan rekening air

Prediksi kebutuhan air harus memperhitungkan kebocoran atau kerugian agar tidak menurunkan perkiraan peruntukan. Dua puluh hingga empat puluh persen kebutuhan rumah tangga dan non-domestik hilang atau bocor. Kebocoran air yang dijual vs air yang dihasilkan juga bisa diperhatikan (Udju, 2014).

2.8 Sistem pengaliran

Pendistribusian air dapat dilakukan melalui beberapa metode yang ditentukan oleh karakteristik geografis yang menghubungkan sumber air dengan pengguna akhir. Berikut penjelasan rinci masing-masing sistem distribusi air bersih:

1. Secara gravitasi

Metode gravitasi dapat diterapkan jika terdapat perbedaan ketinggian yang signifikan antara sumber air dan wilayah layanan, sehingga tekanan yang diperlukan dapat dipertahankan.

2. Cara pemopaaan

Pendekatan ini menggunakan pompa untuk menambah tekanan yang diperlukan untuk mengalirkan air dari reservoir ke pengguna. Strategi ini dapat diterapkan jika wilayah layanan merupakan dataran datar tanpa adanya wilayah elevasi.

3. Cara gabungan

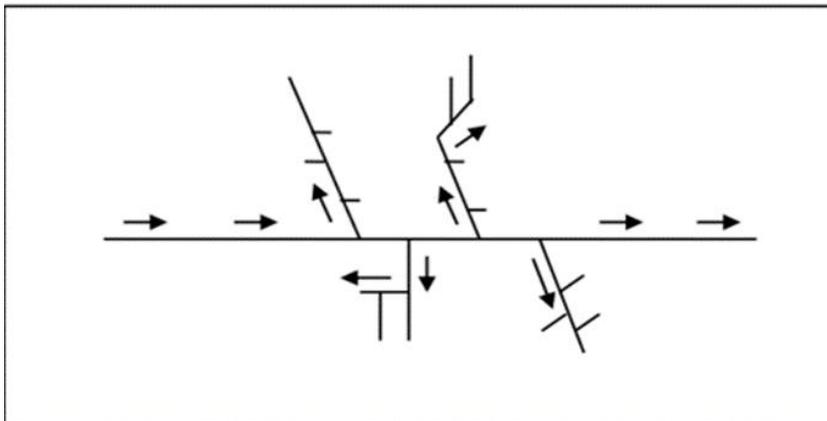
Pendekatan gabungan menggunakan reservoir untuk memberikan tekanan yang diperlukan pada saat permintaan tinggi dan dalam situasi darurat, seperti setelah kebakaran atau pemadaman listrik. Selama periode permintaan rendah, kelebihan air dipompa dan disimpan di reservoir distribusi. Karena reservoir distribusi berfungsi sebagai cadangan air pada saat penggunaan tinggi atau puncak, pompa dapat dioperasikan pada kapasitas debit yang konsisten (Joko, 2010).

2.9 Sistem jaringan distribusi

Jaringan distribusi terdiri dari pipa-pipa yang saling berhubungan yang berfungsi mengalirkan air ke pengguna. Tata letak distribusi terutama dipengaruhi oleh karakteristik topografi wilayah layanan dan posisi pabrik pengolahan, yang biasanya dikategorikan seperti (Joko, 2010):

1. Sistem cabang

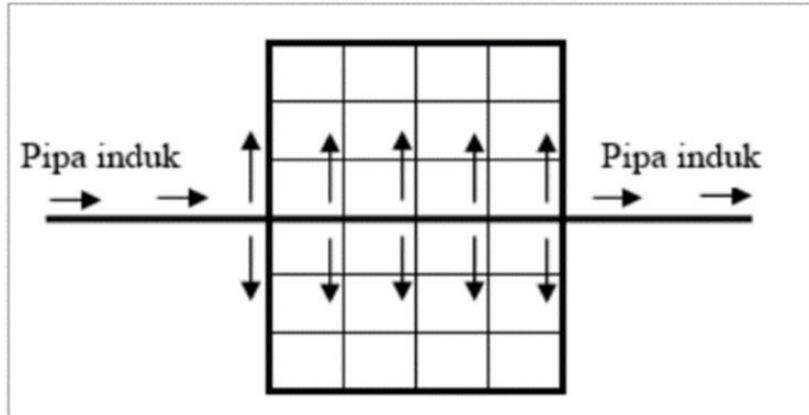
Bentuk dahan buntu menyerupai pola percabangan pohon. Pipa induk utama dihubungkan dengan pipa utama sekunder, seperti terlihat pada gambar 2 di bawah.



Gambar 2. Sistem cabang

2. Sistem gridiron

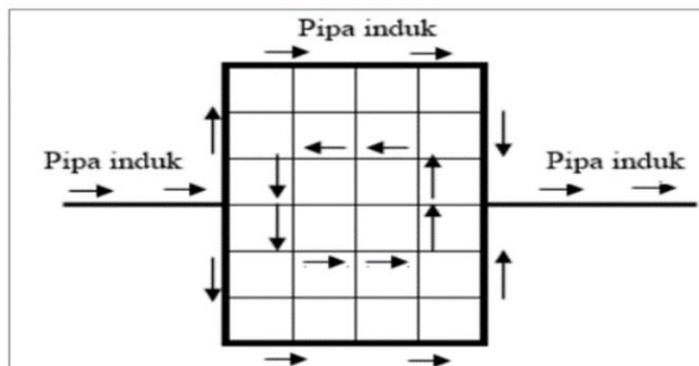
Pipa utama primer dan pipa utama sekunder terletak di dalam sebuah wadah, dengan ketiga pipa tersebut saling berhubungan. seperti yang digambarkan pada Gambar 3 di bawah ini:



Gambar 3. Sistem gridiron

3. Sistem melingkar (*loop*)

Saluran utama terletak di sekitar area layanan. Koleksinya dibagi dua, dengan masing-masing bagian meliputi keliling area layanan. Kedua bagian bertemu sekali lagi pada bagian akhir. Di wilayah yang ditentukan, pipa layanan primer dihubungkan ke pipa utama pusat. Sistem ini merupakan yang paling optimal, seperti digambarkan pada grafik di bawah ini:



Gambar 4. Sistem melingkar (*loop*)

2.10 Sistem jaringan distribusi

Jenis pipa ditentukan berdasarkan material pipanya seperti CI, beton (concrete), baja, AC, GI, plastic dan PVC. Kelebihan dan kekurangan pemakaian pipa-pipa tersebut (Joko, 2010):

a. *Cast-iron pipe*

Pipa CI tersedia untuk ukuran panjang 3,7 sampai 5,5 dengan diameter 50 – 900 mm, serta dapat menahan tekanan air hingga 240 m tergantung besar diameter pipa.

b. *Concrete pipe*

Pipa beton biasa digunakan jika tidak berada dalam tekanan dan kebocoran pada pipa tidak terlalu dipersoalkan. Diameter pipa beton mencapai 610 mm. Pipa RCC digunakan untuk diameter lebih dari 2,5 m dan bisa didesain untuk tekanan 30 m.

c. *Steel pipe*

Pipa baja digunakan untuk memenuhi kebutuhan pipa yang berdiameter besar dan bertekanan tinggi. Pipa ini dibuat dengan ukuran dan diameter standar. Pipa baja kadang-kadang dilindungi dengan lapisan mortar.

d. *Asbestos-cement pipe*

Pipa ini dibuat dengan mencampurkan serat asbes dengan semen pada tekanan tinggi. Diameternya berkisar 50 -90 mm dan dapat menahan tekanan antara 50 – 250 mka tergantung kelas dan tipe pembuatan.

e. *Galvanised-iron pipe*

Pipa GI banyak digunakan untuk saluran dalam gedung. Tersedia untuk ukuran diameter 60 – 750 mm.

f. *Plastic pipe*

Pipa plastik memiliki banyak kelebihan, seperti tahan terhadap korosi, ringan dan murah. Pipa Polytene tersedia dalam warna hitam. Pipa ini lebih tahan terhadap bahan kimia, kecuali asam nitrat dan asam kuat, lemak dan minyak. Pipa plastik terdiri atas 2 (dua) tipe:

- *Low-density polytene pipe*

Pipa ini lebih fleksibel, diameter yang tersedia mencapai 63 mm, digunakan untuk jalur panjang, dan tidak cocok untuk penyediaan air minum dalam gedung.

- *High-density polytene pipe*

Pipa ini lebih kuat dibandingkan Low-Density Polytene Pipe. Diameter pipa berkisar antara 16– 400 mm.

Pipa plastik tidak bisa memenuhi standar lingkungan, yaitu jika terjadi kontak dengan bahan-bahan seperti bahan organik, beton, ester, alkohol, dan sebagainya.

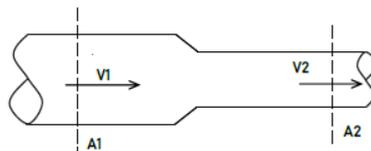
g. *PVC pipe (unplasticised)*

Kekurangan pipa PVC (Polivinyll Chloride) adalah tiga kali kekuatan pipa polythene biasa. Pipa PVC lebih kuat dan dapat menahan tekanan lebih tinggi. Sambungan lebih mudah dibuat dengan cara las. Pipa PVC tahan terhadap asam organik, alkali dan garam, senyawa organik, serta korosi. Pipa ini banyak digunakan untuk penyediaan air dingin di dalam maupun di luar system penyediaan air minum, sistem pembuangan, dan drainase bawah tanah. Pipa PVC tersedia dalam ukuran yang bermacam-macam.

2.11 Teori yang digunakan dalam analisis data

1. Hukum kontinuitas

Jika fluida yang tidak dapat dimampatkan mengalir terus menerus melalui pipa atau saluran, terlepas dari apakah alirannya konstan atau variabel, jumlah cairan yang mengalir per satuan waktu adalah konstan di semua antarmuka. Fenomena ini disebut sebagai hukum kontinuitas aliran zat cair. Saluran utama terletak di sekitar daerah pelayanan. Koleksinya dibagi dua, dengan masing-masing bagian meliputi keliling area layanan. Kedua bagian bertemu sekali lagi pada bagian akhir. Di wilayah yang ditentukan, pipa layanan primer dihubungkan ke pipa utama pusat. Sistem ini adalah yang paling optimal. seperti yang digambarkan pada gambar yang disediakan:



Gambar 5. Saluran pipa dengan diameter berbeda

$$Q_{masuk} = Q_{keluar}$$

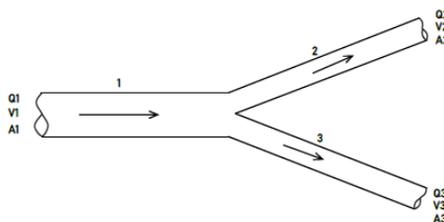
$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \text{ atau } Q = A \times V = \text{konstan} \quad (4)$$

Dimana:

$V_1 A_1$ = volume zat cair yang masuk di penampang 1 tiap satuan waktu

$V_2 A_2$ = volume zat cair yang masuk di penampang 2 tiap satuan waktu

Untuk pipa bercabang berdasarkan persamaan kontinuitas, debit aliran yang menuju titik cabang harus sama dengan debit yang meninggalkan titik tersebut (Triadmodjo, Hidraulika I, 1995)



Gambar 6. Persamaan kontinuitas pada pipa bercabang

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

Atau

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 + A_3 V_3 \quad (5)$$

2. Kecepatan aliran

Pada jam sibuk, kecepatan aliran pipa yang diizinkan adalah antara 0.3 – 0.25 m/detik. Sedimen di dalam pipa tidak bisa dipaksa keluar dengan kecepatan yang

terlalu rendah. Selain itu, hal ini merupakan pemborosan finansial karena diameter pipa yang besar dan kecepatan yang berlebihan menyebabkan kerusakan pipa yang cepat dan kehilangan head yang tinggi, sehingga meningkatkan biaya konstruksi reservoir. Rumus kontinuitas digunakan untuk mencari kecepatan aliran dalam suatu pipa (Triadmodjo, 2008).

$$Q = A \times V = \frac{1}{4} \pi D^2 \times V \quad (6)$$

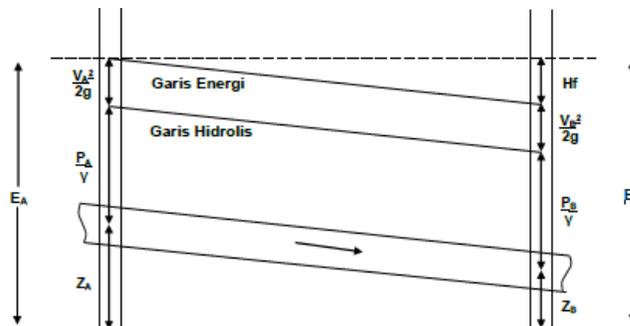
$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Dimana:

- Q = Debit aliran (m³/detik)
 V = Kecepatan aliran (m/detik)
 D = Diameter pipa (m)

3. Sisa tekan

Sebagaimana dikemukakan oleh (Triadmodjo, 1995), ketika suatu zat cair mengalir pada suatu daerah batas seperti pipa, saluran terbuka, atau permukaan datar, maka akan terjadi tegangan geser dan gradien kecepatan di seluruh medan aliran sebagai akibat dari viskositas. Tegangan geser yang disebabkan oleh aliran akan mengakibatkan hilangnya daya.



Gambar 7. Garis energi dan hidrolis pada zat cair

Persamaan Bernoulli:

$$Z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + H_f \quad (7)$$

Persamaan kehilangan energi akibat gesekan sebelumnya dapat dinyatakan dengan lebih sederhana jika pipa mempunyai penampang melintang yang konstan: $V_A = V_B$

$$H_f = \left(Z_A + \frac{P_A}{\gamma} \right) - \left(Z_B + \frac{P_B}{\gamma} \right) \quad (8)$$

Dimana:

- | | | | |
|-------|-----------------------------|----------|---|
| Z_A | = Elevasi pipa 1 dari datum | P_A | = Tekanan di titik 1 (m) |
| (m) | | P_B | = Tekanan di titik 2 (m) |
| Z_B | = Elevasi pipa 2 dari datum | g | = Gravitasi (9.81 = m/dt ²) |
| (m) | | γ | = Berat jenis air (kg/m ³) |

- V_A = Kecepatan aliran di titik 1
 (m)
 V_B = Kecepatan aliran di titik 2
 (m)
 H_f = *Head loss* (m)

4. Kehilangan tekanan air

Air kehilangan energi saat bergerak melalui saluran, klaim (Triadmadja, 2016). Faktor gesekan antara fluida dan dinding pipa antara lain yang menyebabkan hilangnya tekanan (H_f). Ada dua jenis kehilangan tekanan:

a. *Mayor losses*

Mayor losses adalah kehilangan tekanan sepanjang pipa lurus. Dengan menggunakan perhitungan:

- Perhitungan Hazen-Williams. Persamaan ini sangat dikenal di USA. Persamaan kehilangan energi sedikit lebih sederhana karena koefisien kehilangan (CHW)-nya tidak berubah terhadap angka Reynold. Persamaan ini hanya bisa digunakan untuk air.

$$H_f = \frac{Q^{1.85}}{(0.2785 D^{2.63} c)^{1.85}} \quad (9)$$

Dimana:

- H_f = *Mayor losses* sepanjang pipa lurus (m)
 L = Panjang pipa (m)
 Q = Debit (m³/detik)
 D = Diameter pipa (m)
 c = Konstanta Hazen Williams

Tabel 4. Koefisien kekasaran pipa Hazen-Williams

Material	C Factor low	C Factor high
<i>Asbestos-Cemment</i>	140	140
<i>Cast iron</i>	100	140
<i>Cemment-Mortar lined ductiole iron pipe</i>	140	140
<i>Concrete</i>	100	140
<i>Copper</i>	130	140
<i>Steel</i>	90	110
<i>Galvanized iron</i>	120	120
<i>Polyethylene</i>	140	140
<i>Polyvinly chloride (PVC)</i>	130	130
<i>Fiber-Reinforced plastic (FRP)</i>	150	150

Sumber: (Ahlul, 2016)

- Perhitungan Darcy Weisbach. Kehilangan energi utama sepanjang pipa karena gesekan menurut Darcy Weisbach di berikan persamaan:

$$H_f = f \frac{LV^2}{D 2g} \quad (10)$$

Dimana:

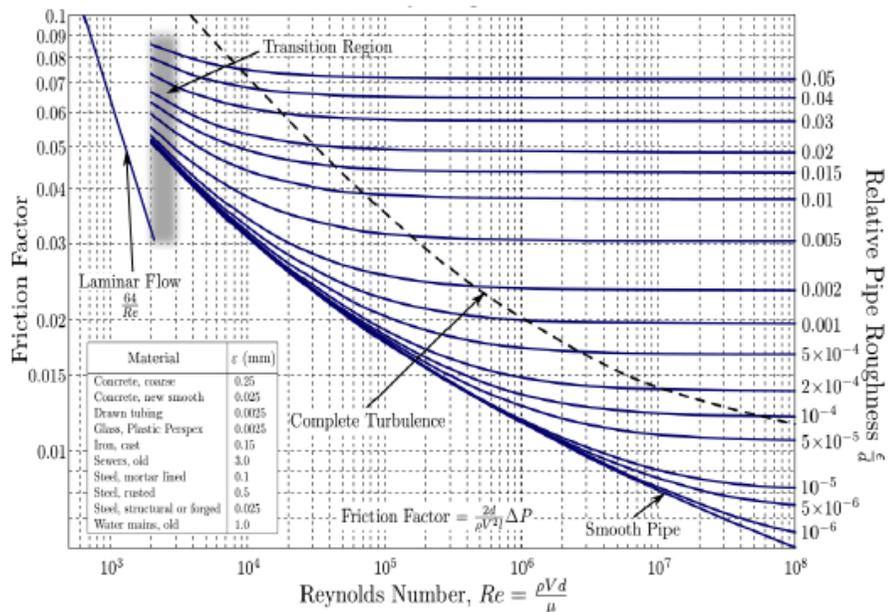
H_f = Kehilangan energi (m)

f = Koefisien gesek (Darcy)

V = Kecapatan aliran air (m/detik)

g = Percepatan gravitasi (9.81 m/dt²)

Harga f dapat dihitung dengan menggunakan grafik Moody, dimana menghubungkan kekasaran relatif (e/d), angka Reynold (Re), dan koefisien kekasaran (f).



Gambar 8. Diagram Moody

Harga diameter kekasaran pipa yang biasa digunakan untuk jaringan air bersih diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Diameter kekasaran (e) beberapa bahan (material) pipa baru

Material	Minimum (e) mm	Maksimum (e) mm	Rerata (e) mm
Asbestos cement	0.0015	0.0015	0.0015
Brass	0.0015	0.0015	0.0015
Brick	0.6	0.6	0.6
Cast iron, new	0.2	5.5	0.25
Concrete	0.3	3.0	1.7
Steel forms	0.18	0.18	0.18

<i>Wooden forms</i>	0.6	0.6	0.6
<i>Centrifugally spun</i>	0.36	0.36	0.36
<i>Cement</i>	0.4	1.2	0.8
<i>Copper</i>	0.0015	0.9	0.45
<i>Corrugated metal</i>	45	45	45
<i>Galvanized iron</i>	0.1	4.6	2.4
<i>Glass</i>	0.0015	0.0015	0.0015
<i>Lead</i>	0.0015	0.0015	0.0015
<i>Plastic</i>	~0	0.0015	0.0015

Sumber: (Triadmadja, 2016)

b. *Minor losses*

Minor losses adalah kehilangan tekanan yang terjadi pada tempat yang memungkinkan adanya perubahan karakteristik aliran, misalnya belokan *valve* dan lain-lain.

$$H_{fmin} = K \frac{v^2}{2g} \quad (11)$$

Dimana:

- K = konstanta kontraksi untuk setiap jenis pipa berdasarkan karakter pipa
V = kecepatan aliran (m/dtk)
G = Percepatan gravitasi (m/dtk)

2.12 Teori yang digunakan dalam analisis data

Baik dengan jaringan terbuka maupun jaringan tertutup (*loop*), program ini mensimulasikan pergerakan air atau fluida lain—bukan gas—melalui pipa. Sistem aliran (distribusi) fluida dapat menggunakan sistem gravitasi, sistem pemompaan, atau keduanya. WaterNet dibuat semudah mungkin digunakan, bahkan bagi mereka yang hanya tahu sedikit tentang jaringan distribusi, atau pergerakan air melalui pipa. Dengan mengaktifkan input data interaktif, kesalahan konsumsi WaterNet berkurang dan simulasi jaringan difasilitasi. Hasil untuk penghitungan yang tidak dapat diubah ditampilkan dan dilindungi dari pengeditan pengguna. Umumnya, cursor mouse akan menunjukkan apakah data tersebut dapat diganti atau dimodifikasi.

Fasilitas WaterNet dikembangkan untuk memudahkan pemutakhiran dan analisis data pada saat pengembangan dan optimalisasi jaringan distribusi air. Output dari WaterNet dapat dengan mudah diolah menjadi hardcopy atau diolah lebih lanjut dengan aplikasi canggih lainnya karena dihasilkan dalam bentuk database, teks, atau visual. Kemampuan dan fasilitas WaterNet dalam simulasi jaringan pipa secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Menghitung debit dan tekanan di seluruh jaringan pipa pada setiap node yang merupakan titik dengan elevasi tidak berubah dengan instalasi reservoir, pompa, katup dan tangki.

2. Menghitung demand atau air yang dapat diambil pada sebuah node jika tekanan pada node tersebut telah ditentukan.
3. Fasilitas pompa yang menggunakan persamaan Q-11 (debit ke head) menganut persamaan parabola daya satu titik, tiga titik, dan daya konstan. Fasilitas pompa mempunyai mekanisme untuk menunjukkan kapan pompa beroperasi (*on*) atau tidak (*off*). Pengguna mempunyai pilihan untuk menjadwalkan pompa agar bekerja terus-menerus selama simulasi, atau hanya pada jam-jam tertentu. Selain itu, pompa dapat dikonfigurasi untuk beroperasi sesuai dengan ketinggian tangki, yang berarti pompa akan berhenti beroperasi saat tangki sudah penuh dan melanjutkan pengoperasian saat tangki hampir kosong.
4. Fasilitas default diberikan untuk memudahkan pengguna dalam input data. Data default akan digunakan untuk setiap pipa, pompa, node yang ditentukan oleh pengguna.
5. Fasilitas pustaka untuk kekasaran pipa dan kehilangan tinggi tenaga sekunder. Fasilitas ini mempermudah pengguna untuk menentukan atau memperkirakan nilai diameter kekasaran pipa serta kehilangan tinggi tenaga sekunder di setiap belokan, sambungan dan lain-lain.
6. Fasilitas katup PRV (*Pressure Reducing Valve*), FCV (*Flow Control Valve*), PBV (*Pressure Breaking Valve*) dan TCV (*Throttling Control Valve*) yang sangat diperlukan oleh jaringan pipa.
7. Fasilitas tipe aliran BERUBAH yang sangat berguna untuk simulasi perubahan elevasi di dalam tangki akibat fluktuasi pemakaian air oleh masyarakat yang dipengaruhi oleh jumlah pemakaian air berdasarkan jam- jaman. Pada akhirnya, fasilitas ini dapat digunakan untuk menghitung volume tangki yang optimal serta menguji kinerja jaringan untuk debit yang fluktuatif. Pengguna dapat memeriksa tinggi tekanan dan debit di setiap node, serta debit dan kecepatan aliran di setiap pipa, untuk mengoptimalkan jaringan. Fasilitas tipe aliran BERUBAH menghitung distribusi aliran dan tekanan di seluruh jaringan pipa setiap time step (interval waktu) 60 menit, 30 menit, 15 menit dan 6 menit.
8. Pengguna mempunyai kemampuan untuk mengetahui fluktuasi kebutuhan air di setiap *node*. Fitur ini meningkatkan realisme simulasi jaringan distribusi dengan memungkinkan kebutuhan setiap node disesuaikan berdasarkan kebutuhan aktual di area yang direncanakan. Misalnya, perhitungan ini dapat memperhitungkan berbagai kebutuhan air untuk rumah, pabrik, rumah sakit, sekolah, hidran kebakaran, dan entitas lainnya setiap jamnya.
9. Pengguna dapat dengan mudah merencanakan jaringan pipa dengan fasilitas editing berupa grafik interaktif. Kemampuan ini dapat digunakan untuk menggambar dan mengidentifikasi pipa, serta mengidentifikasi keterkaitan (koneksi) dan arah antar pipa dalam suatu jaringan serta lokasi pompa, reservoir, tangki, dan katup. Hilangkan katup, tangki, reservoir, dan pipa yang tidak diperlukan. Fitur untuk notasi node dan pipa yang memfasilitasi kemampuan pengguna untuk mengikat dengan cepat dan mudah ke tempat yang diinginkan serta melihat data jaringan dan hasil komputasi. Tabel, seperti tabel data node atau pipa, juga dapat diedit dengan berkonsentrasi pada tabel tersebut. Gambar

jaringan pipa menampilkan lokasi yang diedit dalam tabel secara bersamaan. Daripada hanya melihat angka saja, seperti nomor node dan pipa, pengguna akan dapat mengidentifikasi pipa atau node yang sedang diubah.

10. Pengguna dapat dengan mudah merencanakan jaringan pipa dengan fasilitas editing berupa grafik interaktif. Kemampuan ini dapat digunakan untuk menggambar dan mengidentifikasi pipa, serta mengidentifikasi keterkaitan (koneksi) dan arah antar pipa dalam suatu jaringan serta lokasi pompa, reservoir, tangki, dan katup. Hilangkan katup, tangki, reservoir, dan pipa yang tidak diperlukan. Fitur untuk notasi node dan pipa yang memfasilitasi kemampuan pengguna untuk mengikat dengan cepat dan mudah ke tempat yang diinginkan serta melihat data jaringan dan hasil komputasi. Tabel, seperti tabel data node atau pipa, juga dapat diedit dengan berkonsentrasi pada tabel tersebut. Gambar jaringan pipa menampilkan lokasi yang diedit dalam tabel secara bersamaan. Daripada hanya melihat angka saja, seperti nomor node dan pipa, pengguna akan dapat mengidentifikasi pipa atau node yang sedang diubah.
11. Fasilitas mengubah posisi node dan pipa yang tidak diinginkan dapat dilakukan dengan sangat mudah mengikuti gambar peta yang ada. Dalam hal ini, jika penggambaran pipa dipilih dengan tipe skalatis (pilihan diberikan oleh WaterNet), maka perpindahan node juga merupakan perubahan panjang pipa yang berhubungan dengan node tersebut.
12. Fasilitas penggambaran secara skalatis juga merekam panjang pipa, baik pipa lurus maupun belok, berdasarkan koordinat x,y,z. Maksudnya, panjang pipa dihitung berdasarkan lokasi x,y serta ketinggian atau elevasi kedua ujung pipa.
13. Fasilitas *Link Importance* sangat dibutuhkan untuk melihat tingkat layanan tiap pipa terhadap keseluruhan jaringan sehingga jumlah pipa dalam suatu jaringan distribusi dapat dihemat (dikurangi), atau sebaliknya, jika *Link Importance* dari sebuah pipa terlalu tinggi maka perlu dipikirkan kemungkinan pipa paralel.
14. Kontur dapat dibuat berdasarkan peta kontur topografi yang dapat mempermudah input elevasi node mengikuti kontur yang dibuat.
15. Masih banyak fasilitas lain yang tersedia yang dirasakan sangat membantu dalam usaha menghitung dan merencanakan jaringan distribusi air atau fluida dalam pipa.