

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Ketersediaan Air Bersih

2.1.1 Pemilihan Sumber Air

Sumber air bersih di Desa Pangkalan yang memiliki potensi untuk memenuhi kebutuhan air adalah air tanah. Penentuan prioritas air tanah yang dapat dimanfaatkan didasarkan pada beberapa kriteria, antara lain:

1. Hidrologi

Hidrologi memiliki hubungan dengan kondisi iklim di daerah sumber air agar tidak terjadi kekeringan air. Kuantitas air adalah besar volume yang dapat diambil tanpa mengganggu keseimbangan lingkungan. Kualitas air penting dalam menentukan air tanah yang layak konsumsi.

2. Aksesibilitas

Jarak lokasi air tanah dengan penduduk yang semakin dekat dapat mempermudah distribusi air dalam pemanfaatannya. Sumber air yang tersedia berfungsi untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, irigasi atau kebutuhan industri kecil. Kondisi air tanah sebagai sumber air dapat digunakan dengan baik. Selain itu akses menuju lokasi air tanah juga menjadi pertimbangan, terutama dalam memastikan pipa dan pompa sebagai infrastruktur pendukung tetap terjaga dengan baik agar distribusi air berjalan lancar tanpa hambatan.

2.1.1 Air Tanah

Air adalah zat atau material atau unsur penting bagi setiap bentuk kehidupan yang diketahui sampai saat ini di bumi, tetapi tidak bagi planet lain dalam sistem tata surya dan menutupi hampir 71% permukaan di bumi (Kodoatie, 2012). Air tanah berasal dari air hujan yang jatuh ke permukaan bumi yang kemudian mengalami perkolasi atau penyerapan ke dalam tanah dan mengalami proses filtrasi secara alamiah. Proses-proses yang telah dialami air hujan tersebut di dalam perjalanannya ke bawah tanah, membuat tanah menjadi lebih baik dan lebih murni dibandingkan air permukaan.

Air tanah memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan sumber lain. Pertama, air tanah biasanya bebas dari kuman penyakit dan tidak perlu proses

purifikasi atau penjernihan. Persediaan air tanah juga cukup tersedia sepanjang tahun, saat musim kemarau sekalipun. Sementara itu, air tanah juga memiliki beberapa kelemahan dibandingkan sumber air lainnya, yakni karena air tanah mengandung zat-zat mineral dalam konsentrasi yang tinggi (Joko, 2010).

Air tanah dan air permukaan merupakan sumber daya yang memiliki ketergantungan satu sama lain. Air tanah memiliki peran sebagai sumber aliran air sebagian besar sungai di permukaan tanah, begitu pun sebaliknya aliran air tanah merupakan sumber utama imbuhan air tanah yang pembentukannya mengikuti siklus peredaran air di bumi. Air tanah merupakan air yang mengisi rongga-rongga pada lapisan geologi dalam keadaan penuh dan dengan jumlah yang cukup. Sebagian besar air tanah berasal dari air permukaan yang meresap masuk ke dalam tanah dan terjadi proses peredaran air atau siklus hidrologi.

Secara umum terdapat 2 sumber air tanah yakni sebagai berikut :

1. Air hujan yang meresap ke dalam tanah melalui pori-pori atau retakan dalam formasi batuan dan akhirnya mengalir mencapai permukaan air tanah.
2. Air dari aliran air permukaan di atas tanah seperti danau, sungai, reservoir dan lain sebagainya yang meresap melalui pori-pori tanah masuk ke dalam lajur jenuh.

Menurut (Panguriseng, 2018), lapisan permeabel adalah istilah yang digunakan untuk menyebut lapisan yang dapat dilewati oleh air, sementara lapisan impermeabel mengacu pada lapisan tanah yang tidak mampu untuk ditembus oleh air. Karakteristik batuan untuk menyimpan maupun mengalirkan air tanah terbagi menjadi empat jenis, yakni meliputi:

1. Akuifer (*Aquifer*)

Lapisan batuan yang memiliki kemampuan untuk menyimpan maupun mengalirkan air. Lapisan ini secara umum tersusun atas pasir yang bersifat permeabel, batuan pasir, dan kerikil. Porositas batuan juga cenderung tinggi dan saling terhubung satu sama lain.

2. Akuitar (*Aquitards*)

Lapisan yang memiliki kesamaan dengan akuifer, tetapi berbeda dalam kemampuannya untuk mengalirkan air. Pada lapisan ini air akan dialirkan dalam jumlah terbatas. Contohnya, termasuk batuan beku yang terpecah-pecah.

3. Akuiklud (*Aquiclude*)

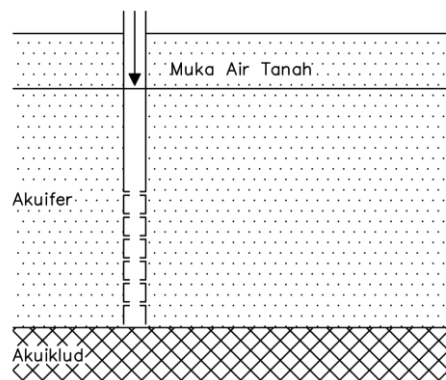
Lapisan geologi yang dapat menampung air tetapi tidak mampu mengalirkannya dengan efisien. Karakteristik utama dari akuiklud adalah kemampuannya dalam menyimpan air, meskipun aliran air di dalamnya sangat terbatas. Beberapa contoh batuan yang termasuk dalam kategori akuiklud adalah tuf halus, lempung, dan lanau.

4. Akuifug (*Aquifuge*)

Lapisan geologi yang tidak mampu menampung maupun mengalirkan air. Lapisan ini berfungsi sebagai penghalang bagi pergerakan air tanah. Contoh dari akuifug meliputi batuan metamorf dan batuan beku. Karena sifatnya yang kedap air, akuifug sering kali berada di bawah lapisan akuifer. Dengan demikian, keberadaan akuifug sangat penting dalam pengelolaan sumber daya air tanah.

Akuifer dapat dibedakan menjadi empat jenis utama, yang masing-masing memiliki karakteristik dan sifat yang berbeda.

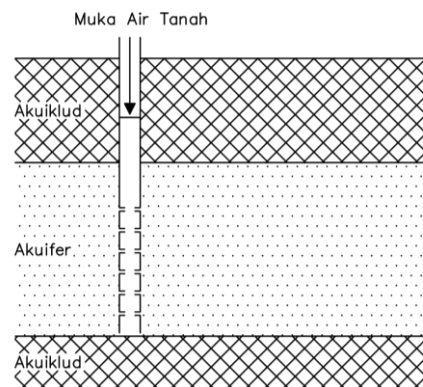
1. Akuifer bebas (*unconfined aquifer*) adalah lapisan jenuh air yang memiliki muka air tanah. Permukaan tanah pada jenis akuifer ini dikenal sebagai *water table* atau *phreatic level*, yang memiliki tekanan hidrostatik sama dengan tekanan atmosfer. Bagian bawah akuifer bebas ini dibatasi oleh akuitar, yaitu lapisan jenuh air yang hanya sedikit meloloskan air. Air dalam akuifer bebas dapat dimanfaatkan dengan membuat sumur gali atau sumur pantek pada kedalaman kurang dari 20 meter di bawah permukaan tanah.



Gambar 2.1 Akuifer Bebas (*Unconfined Aquifer*)

Sumber: Panguriseng, 2018

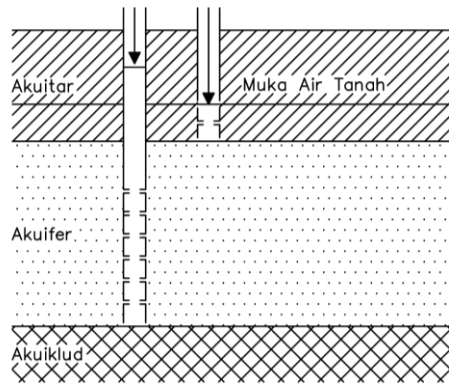
2. Akuifer tertekan (*confined aquifer*), dimana air di dalamnya dibatasi oleh lapisan akuitar di atas dan di bawahnya. Akuifer tertekan memiliki tekanan jenuh yang lebih besar dibandingkan dengan tekanan atmosfer, dan jenis akuifer ini biasanya dimanfaatkan melalui sumur dalam. Akuifer adalah sistem penyimpanan air yang diapit oleh lapisan akuitar, yang menghambat pergerakan air ke atas atau ke bawah. Tekanan di dalam akuifer tertekan biasanya lebih tinggi daripada tekanan atmosfer, sehingga air dapat mengalir dengan sendirinya ketika sumur dibor. Jenis akuifer ini sering dimanfaatkan untuk kebutuhan air bersih dan irigasi, karena dapat menyediakan pasokan air yang stabil dan berkelanjutan.



Gambar 2.2 Akuifer Tertekan (*Confined Aquifer*)

Sumber: Panguriseng, 2018

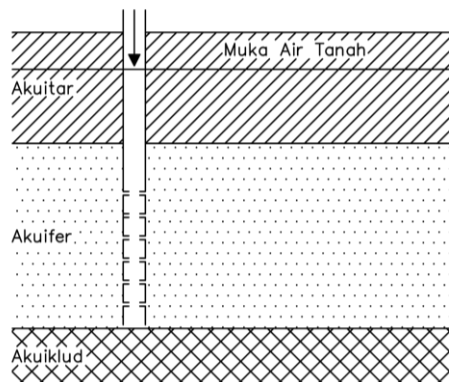
3. Akuifer semi tertekan (*semi-confined aquifer*), yang sepenuhnya bersifat jenuh air. Pada akuifer ini, bagian atasnya dibatasi oleh lapisan semi lolos air, sementara bagian bawahnya terdiri dari lapisan kedap air. Lapisan kedap air di bagian bawahnya berfungsi untuk menjaga stabilitas tekanan dan mencegah kehilangan air, sehingga akuifer ini dapat berfungsi sebagai sumber air yang andal untuk berbagai kebutuhan.



Gambar 2.3 Akuifer Semi Tertekan (*Semi-Confined Aquifer*)

Sumber: Panguriseng, 2018

4. Akuifer semi bebas (*semi-unconfined aquifer*) memiliki lapisan bawah yang kedap air, sedangkan lapisan atasnya terdiri dari material berbutir halus yang masih memungkinkan adanya gerakan air. Akuifer semi bebas ini dapat dianggap sebagai peralihan antara akuifer bebas dengan akuifer semi tertekan, menciptakan kompleksitas dalam pengelolaan sumber daya air.



Gambar 2.4 Akuifer Semi Bebas (*Semi-Unconfined Aquifer*)

Sumber: Panguriseng, 2018

2.1.3 Sumur Bor

Sumur bor adalah jenis sumur yang dibuat melalui metode pengeboran untuk mencapai akuifer dalam, dimana air tanah dapat diambil dengan lebih efektif dan efisien. Sumur ini berbeda dari sumur tradisional karena mampu mencapai lapisan yang lebih dalam dan menghasilkan debit air yang lebih besar (Kodoatie, 2002). Sumur bor harus dibor dengan menggunakan alat berat karena berada di dalam batuan keras. Kualitas air dari sumur bor tergolong baik karena memiliki kedalaman yang jauh di dalam tanah sehingga belum terkontaminasi.

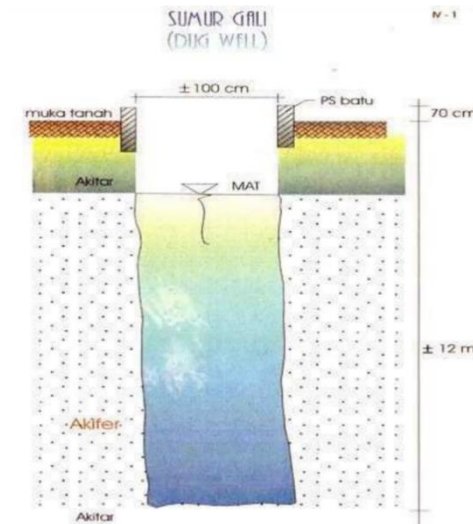
Proses pengeboran sumur bor yakni melewati beberapa lapisan tanah atau batuan, termasuk lapisan tanah penutup, lapisan akuifer, dan lapisan batuan keras. Penampang memanjang menggambarkan profil vertikal dari semua lapisan ini. Penampang memanjang sangat penting dalam menentukan dimana saringan (*screen*) harus dipasang untuk memaksimalkan penangkapan air tanah yang berkualitas.

Penampang memanjang dari sumur bor menampilkan posisi akuifer, baik akuifer bebas maupun akuifer tertekan. Penampang memberikan panduan visual tentang dimana letak lapisan akuifer produktif berada, sehingga pemompaan air dapat dilakukan dari kedalaman yang tepat tanpa menyebabkan kerusakan pada struktur sumur atau penurunan muka air tanah yang berlebihan. Penampang memanjang juga berfungsi sebagai alat untuk memahami bagaimana sistem pemompaan bekerja di sumur bor. Penampang memanjang membantu menilai sumur tersebut mampu menghasilkan debit air yang memadai sesuai dengan jenis akuifer yang ditembus.

Sumur dapat dikategorikan berdasarkan kedalaman dan jenis akuifernya yakni sebagai berikut:

1. Sumur Gali (*Dugwell*)

Sumur gali adalah sumur yang digali dengan variasi diameter $\pm 1 - 2$ m, dengan kedalaman bervariasi antara 5 – 12 m, dibuat dengan cara menggali mempergunakan peralatan sederhana dan bertujuan menyadap muka air tanah freatik dengan fluktuasi muka air tanah tergantung pada curah hujan. Pengambilan air dilakukan dengan menggunakan timba ataupun dengan pompa hisap kapasitas 0,1 - 0,5 l/detik (Wiryawan, 2015).

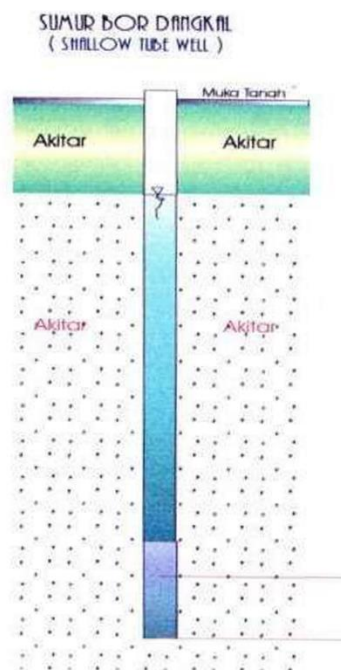


Gambar 2.5 Sumur Gali (*Dugwell*)

Sumber: PUPR, 2017

2. Sumur Bor Dangkal (*Shallow Tubewell*)

Sumur bor dangkal dikenal dengan nama sumur pantek adalah sumur yang dibuat dengan cara di bor oleh tenaga manusia, mempergunakan pipa naik diameter 2", kedalaman sumur berkisar 30 – 40 m, menyadap akuifer bebas dan mempunyai kapasitas antara 1 - 5 l/detik. Pengambilan air dengan mempergunakan pompa hisap (Wiryawan, 2015).

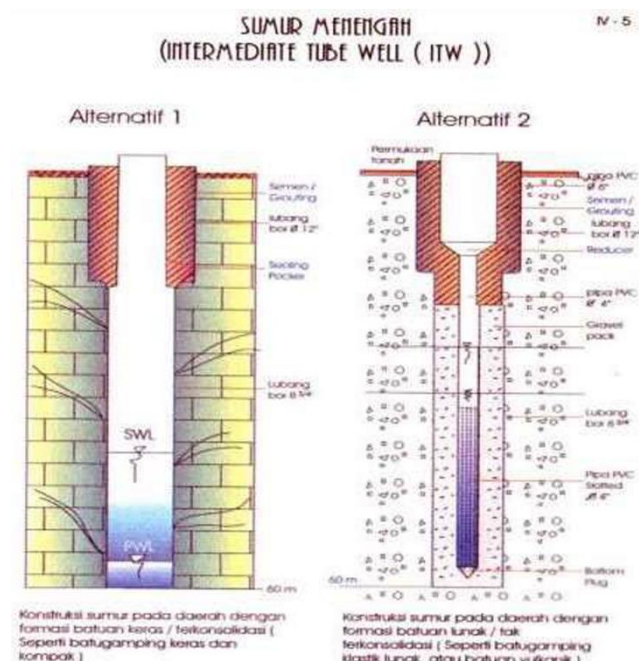


Gambar 2.6 Sumur Bor Dangkal (*Shallow Tubewell*)

Sumber: PUPR, 2017

3. Sumur Bor Menengah (*Intermediate Tubewell*)

Sumur bor menengah adalah sumur bor yang dibuat dengan cara di bor menggunakan mesin bor, kedalaman sumur antara 30 – 60 m, mempunyai diameter 4" - 6". Sama seperti sumur dalam, bahan pipa maupun *screen* dapat berupa pipa galvanis, pipa fiber ataupun pipa PVC berkapasitas ± 10 l/detik, pengambilan air dengan pompa hisap. Sumur bor ini menyadap akuifer bebas dan akuifer tertekan (Wiryawan, 2015).

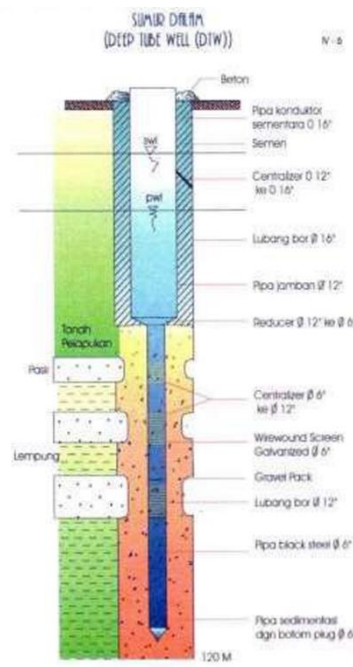


Gambar 2.7 Sumur Bor Menengah (*Intermediate Tubewell*)

Sumber: PUPR, 2017

4. Sumur Bor Dalam (*Deep Tubewell*)

Sumur bor dalam adalah sumur bor yang dibuat menggunakan tenaga mesin bor dengan kedalaman berkisar 60 – 200 m, diameter pipa antara 6" - 12", bahan konstruksi sumur dapat berupa pipa besi galvanis, pipa hitam, pipa fiber maupun pipa PVC dengan spesifikasi khusus, dan pipa saringan dapat dibuat dari bahan besi, *stainless*, fiber, galvanis atau PVC. Sumur bor ini menyadap akuifer semi tertekan dan akuifer tertekan. Pengambilan air dengan memakai pompa turbin (*vertical turbine pump*), pompa listrik *submersible*/selam (*electric submersible*), dan kapasitas 15 - 60 l/detik (Wiryawan, 2015).



Gambar 2.8 Sumur Bor Dalam (*Deep Tubewell*)

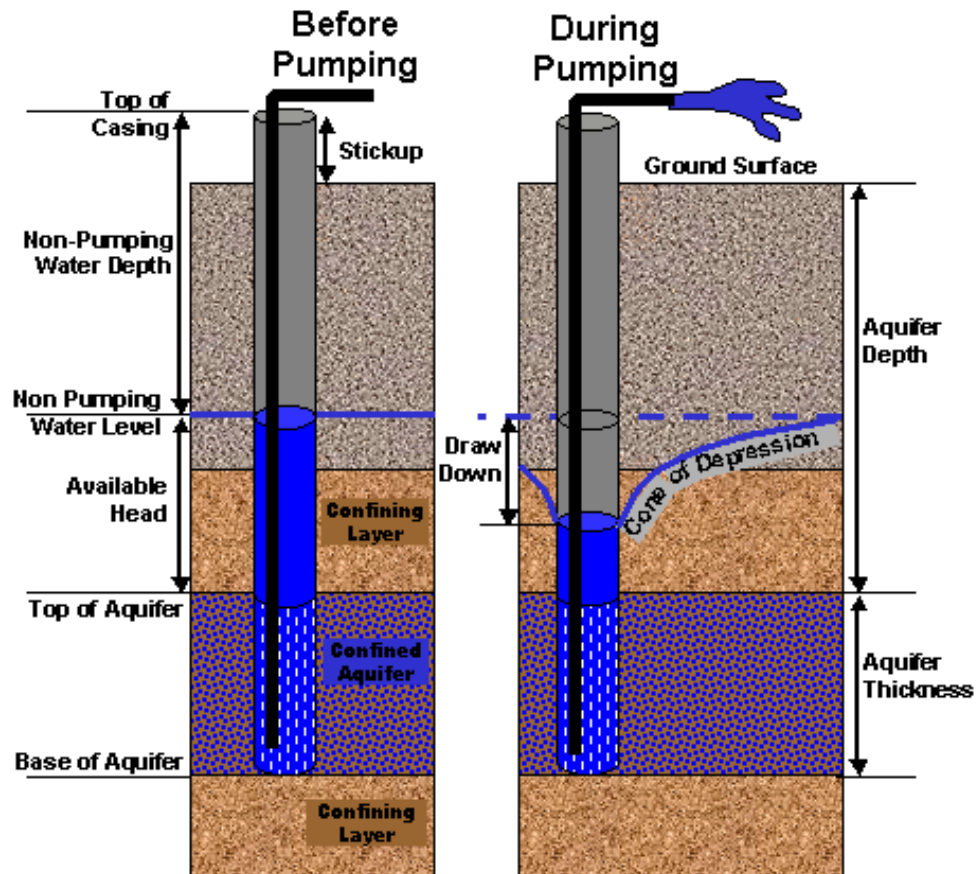
Sumber: PUPR, 2017

2.1.4 Uji Pemompaan (*Pumping Test*)

Uji pemompaan (*pumping test*) bertujuan untuk menganalisis debit air tanah, tujuannya selain untuk mengetahui kemampuan sumur bor dalam memproduksi air tanah juga untuk mengetahui kelulusan lapisan pembawa air (akuifer). Uji pemompaan adalah memompa air dari suatu sumur dengan debit tertentu, mengamati penurunan muka air selama pemompaan berlangsung, dan mengamati pemulihan kembali muka air setelah pompa dimatikan sesuai dengan selang waktu tertentu (Bisri, 2012).

Uji pemompaan dapat dibagi menjadi dua yaitu untuk pengujian sumur dengan *step drawdown test* dan pengujian akuifer dengan *long term test*. Karakteristik akuifer merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam mempelajari air tanah, khususnya untuk mengetahui kapasitas air tanah yang dapat disimpan di dalam lapisan tanah dan kapasitas yang dapat dipergunakannya. Karakteristik tersebut meliputi koefisien keterusan air atau koefisien transmisivitas (T), koefisien konduktivitas hidrolik (K) dan koefisien cadangan air (S).

Tahap terakhir yang dilakukan yaitu *recovery* atau tahap pemulihan. Pada tahapan ini akan dilihat apakah terjadi pengisian air tanah kembali atau tidak.



Gambar 2.9 Ilustrasi *Pumping Test*

Sumber: Bisri, 2012

Dalam analisis uji pemompaan, perbandingan antara laju penurunan muka air selama pemompaan dan laju kenaikan muka air saat *recovery* menjadi indikator penting dalam menilai keseimbangan antara debit air yang dihasilkan dari sumber dengan debit yang dipompa. Berikut adalah tiga kemungkinan yang dapat terjadi berdasarkan pengamatan tersebut:

1. Jika perbandingan dari dua keadaan ini (laju penurunan muka air pada saat *pumping* terhadap laju kenaikan muka air ketika *recovery*) adalah 1 maka debit sumber = debit air yang dikeluarkan pompa (*output*).
2. Jika laju penurunan muka air pada saat *pumping* lebih besar terhadap laju kenaikan muka air ketika *recovery*, berarti debit sumber lebih kecil daripada debit pompa (*output*).
3. Jika laju penurunan muka air pada saat *pumping* lebih kecil terhadap laju kenaikan muka air ketika *recovery*, berarti debit sumber lebih besar daripada debit pompa (*output*).

Nilai debit sesungguhnya dari sumber dapat diketahui dengan mengalikan luas area sumber dengan tinggi kenaikan muka air rata-rata pada saat *recovery*. Setelah itu, perhitungan debit dilakukan dengan mempertimbangkan waktu pemulihan dari sumber air tersebut, yang memberi gambaran tentang laju perolehan air secara alami. Mengukur perubahan tekanan air selama proses ini penting untuk memastikan bahwa debit yang diperoleh akurat dan representatif dari kondisi akuifer. Dengan pemantauan yang tepat dapat dilakukan untuk menjaga keberlanjutan sumber daya air.

Hasil uji debit air tanah yang aman secara kasar dapat ditentukan dengan mengoperasikan pompa uji dengan kapasitas setidaknya sama dengan kebutuhan puncak pada sistem dan operasi selama 24 jam sampai 48 jam. Setelah 24 jam dipompa, pengukuran harus dilakukan dengan beberapa interval waktu untuk menentukan kestabilan. Debit air (*Pumping Rate*) pada saat dipompa dengan kondisi pemompaan yang stabil dengan hasil yang aman adalah sekitar 60 - 80% pada kondisi normal. Air di lapisan yang keras (*Inkrustasi*) diantisipasi, faktor keamanan harus ditetapkan rendah.

Langkah-langkah yang dikerjakan untuk mendapatkan parameter karakteristik akuifer adalah sebagai berikut:

1. Transmisivitas (*Transmisivity*)

Transmisivitas adalah ukuran kemampuan akuifer untuk mengalirkan air, yang merupakan produk dari konduktivitas hidrolik (K) dan ketebalan lapisan akuifer. Nilai transmisivitas yang tinggi menunjukkan bahwa akuifer dapat menyuplai air dengan cepat.

Persamaan transmisivitas untuk metode Cooper-Jacob (Kruseman et al., 1990) sebagai berikut :

$$T = \frac{2,303 Q}{4 \pi \Delta s} \quad (2.1)$$

keterangan:

T = transmisivitas akuifer (m²/hari)

Q = debit pemompaan (m³/detik)

Δs = kemiringan grafik *time-drawdown* menunjukkan *drawdown* antara dua waktu dalam skala log dengan rasio 10 (m)

2. Koefisien Konduktivitas Hidrolik (*Hydraulic Conductivity Coefficient*)

Nilai koefisien konduktivitas hidrolik sangat penting karena mempengaruhi seberapa cepat air dapat bergerak melalui lapisan tanah atau batuan.

Nilai koefisien yang didapatkan dari formula (Logan, 1964) sebagai berikut:

$$K = \frac{T}{D} \quad (2.2)$$

keterangan:

K = koefisien konduktivitas hidrolik (m/hari)

T = transmisivitas akuifer (m²/hari)

D = tebal akuifer (m)

3. Koefisien Cadangan Air (*Storage Coefficient*)

Koefisien cadangan air adalah ukuran yang menggambarkan jumlah air yang dapat disimpan atau dilepaskan oleh akuifer per unit penurunan muka air.

Koefisien cadangan air dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$S = \frac{2,25 T t_o}{r^2} \quad (2.3)$$

keterangan:

S = koefisien cadangan air

T = transmisivitas akuifer (m²/hari)

t = waktu pemompaan (hari)

r = jarak dari sumur (m)

4. Pengaruh Radius (*Radius of Influence*)

Radius of influence adalah jarak radial dari sumur pemompaan dimana penurunan muka air dianggap efektif nol untuk periode waktu tertentu.

Radius of influence (R) dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$R = 1,15 \sqrt{\frac{T t}{S}} \quad (2.4)$$

keterangan:

R = radius pengaruh sumur (m)

T = transmisivitas akuifer (m²/hari)

t = waktu pemompaan (hari)

S = koefisien cadangan air

Langkah-langkah yang dikerjakan untuk mendapatkan parameter karakteristik sumur adalah sebagai berikut:

1. Persamaan Susutan Sumur dan Akuifer

Persamaan ini diperhitungkan untuk memahami air bergerak dan terdistribusi di dalam akuifer selama pemompaan, serta untuk menentukan efisiensi sumur dan efektivitasnya terhadap keberlanjutan sumber daya air. Dengan menganalisis persamaan ini, dapat menentukan kinerja sumur serta dampak pemompaan pada akuifer di sekitarnya. Persamaan susutan sumur dan akuifer yang dinyatakan sebagai:

$$\frac{S_w}{Q} = B + CQ \quad (2.5)$$

keterangan:

S_w = penurunan muka air (m)

Q = debit pemompaan ($m^3/detik$)

B = koefisien penurunan tinggi tekanan akuifer ($detik/m^2$)

C = koefisien penurunan tinggi tekanan sumur ($detik/m^2$)

2. Persamaan Sumur

Persamaan susutan sumur digunakan untuk menggambarkan hubungan antara debit air yang dipompa dari sumur dan susutan (penurunan muka air) yang terjadi akibat pemompaan tersebut.

Bentuk persamaan susutan sumur yang umum digunakan adalah:

$$S_w = BQ + CQ^2 \quad (2.6)$$

keterangan:

S_w = penurunan muka air (m)

Q = debit pemompaan ($m^3/detik$)

B = koefisien penurunan tinggi tekanan akuifer ($detik/m^2$)

C = koefisien penurunan tinggi tekanan sumur ($detik/m^2$)

Berikut adalah penjelasan beberapa persamaan penting yang digunakan dalam analisis susutan sumur dan akuifer:

a. Metode Analisis Faktor Pengembang (Fd)

Metode Analisis Faktor Pengembang (Fd) digunakan dalam perhitungan sumber daya air untuk memperkirakan kebutuhan di masa mendatang.

Rumus perhitungannya yakni, sebagai berikut:

$$Fd = \frac{C}{B} \times 100 \quad (2.7)$$

keterangan:

Fd = faktor pengembang (hari/m³)

B = koefisien penurunan tinggi tekanan akuifer (detik/m²)

C = koefisien penurunan tinggi tekanan sumur (detik/m²)

Selanjutnya nilai Fd disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kriteria Nilai Fd

Fd	Kelas
<0,1	Sangat Baik
0,1-0,5	Baik
0,5-1	Sedang
>1	Jelek

Sumber: Bisri. M, 2012; 91

b. Metode Analisis Nilai Perbaikan Sumur (C)

Metode analisis nilai perbaikan sumur (C) merupakan bagian dari evaluasi kondisi sumur bor. Dalam evaluasi nilai C mengindikasikan kemungkinan efektivitas perbaikan terhadap penurunan kondisi sumur yang diakibatkan oleh berbagai faktor. Besarnya nilai C menunjukkan kemungkinan perbaikan sumur dengan kriteria yang digambarkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai C menurut Walton

C	Kondisi Sumur
<0,5	Baik
0,5-1	Mengalami sedikit penyumbatan
1-4	Penyumbatan di beberapa tempat
>4	Sulit dikembalikan seperti semula

Sumber: Bisri. M, 2012; 91

Nilai C yang besar menunjukkan adanya kerugian selama pemompaan, yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti kerusakan pada dinding sumur, penyumbatan, atau desain sumur yang kurang optimal. Dengan demikian, nilai C yang tinggi mengindikasikan bahwa sumur tersebut tidak dapat

beroperasi dengan maksimal dan memerlukan tindakan perbaikan. Dengan metode analisis ini, nilai C dapat dikelola dengan lebih baik.

c. Metode Analisis Efisiensi Sumur (E_w)

Metode Analisis Efisiensi Sumur digunakan untuk menentukan seberapa baik sumur memompa air dengan mempertimbangkan penurunan muka air (*drawdown*) yang terjadi selama pemompaan. Efisiensi sumur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_w = \frac{BQ}{S_w} \times 100\% \quad (2.8)$$

keterangan:

E_w = efisiensi sumur (%)

Q = debit pemompaan ($m^3/detik$)

B = koefisien penurunan tinggi tekanan akuifer ($detik/m^2$)

S_w = penurunan muka air (m)

Sumur dikatakan efisien apabila memiliki $E_w \geq 50\%$.

d. Metode Analisis Kapasitas Jenis Sumur (Sc)

Metode analisis kapasitas jenis sumur (Sc) adalah pendekatan untuk mengevaluasi kinerja dan produktivitas sebuah sumur, khususnya sumur bor, berdasarkan parameter kapasitas spesifik (*Specific Capacity*).

Nilai ini digunakan untuk menilai seberapa efisien sumur mengalirkan air dari akuifer dan sangat tergantung dari debit pemompaan (Q) dan penurunan permukaan air (S_w), yaitu:

$$Sc = \frac{Q}{S_w} \quad (2.9)$$

keterangan:

Sc = kapasitas sumur ($m^2/detik$)

Q = debit pemompaan ($m^3/detik$)

S_w = penurunan muka air (m)

Nilai Sc menunjukkan produktivitas pada sumur dengan kriteria sebagai berikut:

Tabel 2.3 Kriteria Nilai Sc

Sc	Produktivitas Sumur
$>5,10^{-3}$	Tinggi
$5,10^{-3}-5,10^{-4}$	Sedang
$5,10^{-4}-5,10^{-5}$	Rendah
$5,10^{-5}-5,10^{-6}$	Sangat Rendah
$<5,10^{-6}$	Dapat Diabaikan

Sumber: Bisri. M, 2012; 91

e. Metode Analisis Debit Optimum (Q_{opt})

Debit optimum sumur merupakan besarnya debit air sumur yang dapat diambil melalui metode pemompaan dengan menghitung nilai Debit Maksimum (Q_{maks}) dan Penurunan muka air maksimum (Sw_{maks}). Untuk mencari besarnya nilai Q_{maks} dan Sw_{maks} , bisa menggunakan rumus persamaan berikut:

$$Q_{maks} = 2\pi \cdot r_w D \left(\frac{\sqrt{K}}{15} \right) \quad (2.10)$$

$$Sw_{maks} = BQ_{maks} + CQ_{maks}^2 \quad (2.11)$$

keterangan:

r_w = jari-jari sumur (m)

D = tebal akuifer (m)

K = koefisien konduktivitas hidrolik (m/hari)

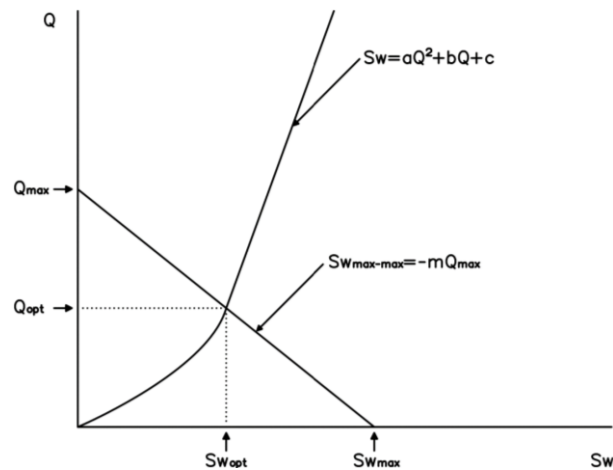
Q_{maks} = debit pemompaan maksimum ($m^3/detik$)

Sw_{maks} = penurunan muka air maksimum (m)

B = koefisien penurunan tinggi tekanan akuifer ($detik/m^2$)

C = koefisien penurunan tinggi tekanan sumur ($detik/m^2$)

Kemudian Q_{maks} dan Sw_{maks} diplot pada grafik dengan garis linear sehingga diperoleh nilai debit optimum dari garis persinggungan. Secara grafik dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.10 Grafik Penentuan Debit Optimum (Q_{opt})

Sumber: Bisri, 2012

2.2 Kebutuhan Air Bersih

2.2.1 Macam Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air dibagi menjadi dua kategori yaitu kebutuhan air domestik dan non domestik.

1. Standar Kebutuhan Air Domestik

Kebutuhan domestik adalah kebutuhan air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga dan sambungan kran umum. Besar kebutuhan air yang diperlukan dihitung dari rata-rata kebutuhan air per satuan orang per hari. Kebutuhan air bersih per orang berbeda dilihat dari kategori kota dan jumlah penduduk dalam suatu daerah perencanaan. Kebutuhan air untuk keperluan domestik digunakan di tempat-tempat hunian pribadi, apartemen, dan sebagainya. Kebutuhan air domestik berbeda-beda dari satu kota ke kota yang lain, dipengaruhi oleh (Linsley & Franzini, 1996):

- a. Iklim, kebutuhan air di saat cuaca atau suhu tinggi cenderung meningkat dibanding kebutuhan air ketika cuaca atau suhu relatif lebih rendah.
- b. Karakteristik penduduk, karakter secara ekonomi kuat maka penggunaan air jauh lebih besar dibandingkan dengan yang ekonomi kurang.
- c. Permasalahan lingkungan hidup, mengakibatkan penemuan alat baru yang membuat penghematan air sehingga jumlah kebutuhan air juga berubah.
- d. Harga air, naiknya harga pemakaian air maka mendorong orang-orang untuk melakukan penghematan dan mengurangi penggunaan air yang tidak perlu.

- e. Kualitas air, peningkatan kualitas air mendorong pemakaian air, sebaliknya penurunan kualitas air menyebabkan keengganan orang untuk memakai air.

Tabel 2.4 Tingkat Pemakaian Air Rumah Tangga Berdasarkan Kategori Kota

Uraian	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk (jiwa)				
	> 1.000.000	500.000 s/d 1.000.000	100.000 s/d 500.000	20.000 s/d 100.000	< 20.000
	Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa
Konsumsi Unit Sambungan (SR) (l/orang/hari)	190	170	130	100	80
Konsumsi Unit Hidran (HU) (l/orang/hari)	30	30	30	30	30
Konsumsi unit non domestik (l/orang/hari) (%)	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30
Kehilangan Air (%)	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30
Faktor Hari Maksimum	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Faktor Jam Puncak	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Jumlah Jiwa per SR (jiwa)	5	5	5	5	5
Jumlah Jiwa per HU (jiwa)	100	100	100	100	100
Sisa tekan di penyediaan distribusi (m)	10	10	10	10	10
Jam Operasi	24	24	24	24	24
Volume Reservoir (% max day demand)	20	20	20	20	20
SR : HU	50 : 50 s/d 80 : 20	50 : 50 s/d 80 : 20	80 : 20	70 : 30	70 : 30
Cakupan Pelayanan (%)	*) 90	90	90	90	**) 70

*) 60% perpipaan. 30% non perpipaan

**) 25% perpipaan, 45% non perpipaan

Sumber: Ditjen Cipta Karya Pekerjaan Umum, 2000

2. Standar Kebutuhan Air Non Domestik

Kebutuhan air bersih di luar kebutuhan rumah merupakan hal yang lumrah untuk kebutuhan air non domestik:

- a. Penggunaan komersial dan industri, yaitu penggunaan air oleh entitas komersial dan industri, seperti pabrik, kantor, hotel, restoran, dan lain-lain. Contoh kebutuhan air non-domestik ini termasuk penggunaan air untuk proses produksi, pendinginan, dan lain-lain.
- b. Air untuk keperluan umum, seperti fasilitas pemerintah, rumah sakit, sekolah, dan tempat ibadah. Contoh kebutuhan air non-domestik ini termasuk penggunaan air untuk keperluan sanitasi, kebersihan, dan lain-lain.

Standar kebutuhan air non-domestik ini penting untuk memastikan bahwa kebutuhan air untuk keperluan di luar rumah tangga dapat dipenuhi secara efektif dan efisien. Dengan demikian, dapat membantu menghemat sumber daya air dan mengurangi dampak lingkungan.

Berikut tingkat pemakaian air non-domestik berdasarkan kategori kota seperti terdapat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Tingkat Pemakaian Air Non Rumah Tangga Berdasarkan Kategori V

No.	Sektor	Nilai	Satuan
1	Sekolah	5	l/murid/hari
2	Rumah Sakit	200	l/bed/hari
3	Puskesmas	1200	l/unit/hari
4	Masjid	3000	l/unit/hari
5	Mushola	2000	l/unit/hari
6	Pasar	12000	l/hektar/hari
7	Komersial/Industri	10	l/hari

Sumber: Ditjen Cipta Karya Pekerjaan Umum, 2000

2.2.2 Proyeksi Jumlah Penduduk

Untuk menghitung rata-rata pertumbuhan penduduk Desa Pangkalan berdasarkan jumlah penduduk dan pertumbuhan penduduk, maka dapat dihitung dengan persamaan berikut:

1. Pertumbuhan Penduduk

$$K_a = \frac{P_n - P_0}{T_n - T_0} \quad (2.12)$$

keterangan:

K_a = pertumbuhan penduduk (jiwa/tahun)

P_n = jumlah penduduk pada akhir taun ke-n (jiwa)

P_0 = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

T_n = tahun pada akhir taun ke-n (tahun)

T_0 = tahun yang ditinjau (tahun)

2. Rasio Pertumbuhan Penduduk

$$r = \frac{\text{jumlah \% pertambahan } n}{T_n - T_0} \quad (2.13)$$

keterangan:

r = angka pertambahan penduduk (%)

T_n = tahun pada akhir taun ke-n (tahun)

T_0 = tahun yang ditinjau (tahun)

n = periode tahun yang ditinjau (tahun)

Untuk menghitung kebutuhan air bersih penduduk maka perlu dihitung pertumbuhan penduduknya. Menurut permen PU No. 18/PRT/M/2007 Cara menghitung pertumbuhan penduduk dari tahun ke tahun adalah sebagai berikut:

1. Metode Analisis Geometrik

Metode geometrik untuk menghitung proyeksi jumlah penduduk dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Muliakusumah, 2000) :

$$P_n = P_0(1 + r)^n \quad (2.14)$$

keterangan:

P_n = jumlah penduduk pada akhir taun ke-n (jiwa)

P_0 = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

r = angka pertambahan penduduk (%)

n = periode tahun yang ditinjau (tahun)

2. Metode Analisis Aritmatika

Menghitung proyeksi jumlah penduduk menggunakan metode aritmetika dapat menggunakan rumus sebagai berikut (Muliakusumah, 2000) :

$$P_n = P_o(1 + rn) \quad (2.15)$$

keterangan:

P_n = jumlah penduduk pada akhir taun ke-n (jiwa)

P_o = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

r = angka pertambahan penduduk (%)

n = periode tahun yang ditinjau (tahun)

3. Metode Eksponensial

Proyeksi jumlah penduduk dengan menggunakan metode eksponensial dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Muliakusumah, 2000) :

$$P_n = P_o \cdot e^{rn} \quad (2.16)$$

keterangan:

P_n = jumlah penduduk pada akhir taun ke-n (jiwa)

P_o = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

e = bilangan logaritma natural (2,7182818)

r = angka pertambahan penduduk (%)

n = periode tahun yang ditinjau (tahun)

Proyeksi penduduk yang akan digunakan dapat ditentukan berdasarkan hasil perhitungan metode perhitungan proyeksi penduduk yang menghasilkan nilai koefisien korelasi paling mendekati 1 yang akan digunakan untuk menghitung kebutuhan air. Besarnya koefisien korelasi berkisar antara $\square 1,0$ sampai dengan $+1,0$ maka kemungkinan perhitungan koefisien korelasi mendapatkan hasil korelasi negatif atau korelasi positif (Budiwanto, 2017). Rumus perhitungan koefisien korelasi yaitu:

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2] \times [n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}} \quad (2.17)$$

keterangan:

r = koefisien korelasi

n = jumlah data

X = jumlah penduduk setiap tahun dari tahun dasar (jiwa)

Y = jumlah penduduk setiap tahun dari tahun hasil proyeksi (jiwa)

2.2.3 Fluktuasi Kebutuhan Air Bersih

Fluktuasi kebutuhan air dimaksud sebagai air yang tidak merata untuk setiap satuan waktu dari fluktuasi pemakaian air pada hari maksimum dan pemakaian air pada jam puncak. Kebutuhan hari maksimum dan jam puncak sangat diperlukan dalam perhitungan kebutuhan air, karena menyangkut kebutuhan pada hari-hari tertentu dan pada jam puncak pelayanan.

Pemakaian pada hari maksimum diartikan sebagai pemakaian tertinggi pada hari tertentu selama periode 1 (satu) tahun. Dalam analisis ini faktor pemakaian pada hari maksimum ditentukan 1,1 kali kebutuhan rata-rata. Pemakaian pada jam puncak diartikan sebagai pemakaian tertinggi pada jam-jam tertentu selama periode 1 (satu) hari, ditentukan 1,5 kali kebutuhan rata-rata. Perkiraan kebutuhan air bersih penduduk Desa Pangkalan dapat dihitung menggunakan beberapa cara yaitu sebagai berikut:

1. Kebutuhan Air Rata-rata,

$$Q_{average} = \frac{100}{100 - \text{presentasi kehilangan air}} \times Q_{total} \quad (2.18)$$

2. Kebutuhan Air Harian Maksimum,

$$Q_{maxday} = Q_{average} \times \text{Maxday Factor} \quad (2.19)$$

3. Kebutuhan Air Jam Puncak,

$$Q_{peak} = Q_{average} \times \text{Peak Factor} \quad (2.20)$$

keterangan:

$Q_{average}$ = debit kebutuhan air rata-rata (jiwa)

Q_{total} = debit kebutuhan air total (jiwa)

Q_{maxday} = debit kebutuhan air harian maksimum (m³/detik)

Q_{peak} = debit kebutuhan air jam puncak (%)

Maxday Factor = faktor maksimum

Peak Factor = faktor puncak

Nilai faktor hari maksimum dan faktor jam puncak telah ditetapkan oleh Ditjen Cipta Karya Pekerjaan Umum.

Tabel 2.6 Nilai Faktor Hari Maksimum dan Faktor Jam Puncak

No	Kategori Kota	Jumlah Penduduk	<i>Maxday Factor</i>	<i>Peak Factor</i>
1	Kota (I)	> 1.000.000	1,1	1,5
2	Metropolitan (II)	500.000 s/d 1.000.000	1,1	1,5
3	Besar (III)	100.000 s/d 500.000	1,1	1,5
4	Sedang (IV)	20.000 s/d 100.000	1,1	1,5
5	Desa (V)	< 20.000	1,1	1,5

Sumber: Ditjen Cipta Karya Pekerjaan Umum, 2000

2.3 Sistem Distribusi Air Bersih

2.3.1 Persyaratan Pelayanan Air Bersih

Air harus memenuhi syarat-syarat tertentu agar layak dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Syarat-syarat yang harus dipengaruhi dalam pelayanan air bersih adalah:

1. Syarat Kuantitas Air

Persyaratan kuantitas dalam penyediaan air bersih adalah ditinjau dari banyaknya air baku yang tersedia. Air baku dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan air sesuai dengan kebutuhan daerah dan jumlah penduduk yang akan diberikan distribusi. Persyaratan kuantitas juga dapat ditinjau dari standar debit air bersih yang dialirkan ke konsumen sesuai dengan jumlah kebutuhan air bersih.

2. Syarat Kontinuitas Air

Air baku untuk air bersih harus dapat diambil terus menerus dengan fluktuasi debit yang relatif tetap, baik pada saat musim kemarau maupun musim hujan. Kontinuitas juga dapat diartikan bahwa air bersih harus tersedia 24 jam per hari, atau setiap saat diperlukan, kebutuhan air tersedia. Akan tetapi kondisi ideal tersebut hampir tidak dapat dipenuhi pada setiap wilayah di Indonesia, sehingga

untuk menentukan tingkat kontinuitas pemakaian air dapat dilakukan dengan cara pendekatan aktivitas konsumen terhadap prioritas pemakaian air.

Prioritas pemakaian air yaitu minimal selama 12 jam per hari, yakni pada jam-jam aktivitas kehidupan, yaitu pada pukul 06.00 – 18.00 WIB. Kontinuitas aliran sangat penting ditinjau dari dua aspek. Pertama yaitu kebutuhan penduduk, sebagian besar penduduk memerlukan air untuk kehidupan dan pekerjaannya dalam jumlah dan waktu yang tidak dapat ditentukan. Oleh karena itu, diperlukan reservoir yang siap setiap saat. Kedua yaitu sistem jaringan perpipaan, yang didesain untuk membawa suatu kecepatan aliran tertentu. Ukuran pipa harus tidak melebihi dimensi yang diperlukan dan juga tekanan dalam sistem harus tercukupi. Dengan analisis jaringan pipa distribusi, dapat ditentukan dimensi atau ukuran pipa yang diperlukan sesuai dengan tekanan minimum yang diperbolehkan agar kuantitas aliran terpenuhi.

2.3.2 Perlengkapan Sistem Distribusi Air

1. Reservoir

Reservoir adalah suatu tempat cadangan air untuk menyimpan dan mengalirkan air. Kapasitas reservoir dapat ditentukan dari jumlah sambungan. Kapasitas reservoir adalah 10-20% dari kebutuhan total harian. Metode yang digunakan pada prediksi perhitungan ini adalah metode persentase. Volume efektif yang digunakan yaitu 15% dari perhitungan kebutuhan air maksimum per hari, sehingga dapat dirumuskan :

$$V = 15\% \times Q_{maxday} \times td \quad (2.21)$$

keterangan:

V = volume air yang dipakai (m^3)

Q_{maxday} = debit pemompaan harian maksimum ($m^3/detik$)

td = waktu detensi (86400 detik)

Jenis reservoir meliputi:

- a. *Ground Reservoir* adalah bangunan penampung air di bawah permukaan tanah.
- b. *Elevated Reservoir* adalah bangunan penampung air di atas permukaan tanah dengan ketinggian tertentu sehingga air pada titik terjauh masih tercapai.

2. Bahan Pipa

Bahan yang sering digunakan dalam merencanakan jaringan distribusi adalah pipa. Pipa yang digunakan untuk mengalirkan air bersih dibagi dalam beberapa jenis, yaitu:

a. Pipa Galvanis

Pipa ini terbuat dari campuran seng (Zn) dengan timah (Pb) dan pada bagian luar dilapisi dengan lapisan timah untuk mencegah karat.

b. Pipa Baja

Pipa ini dibuat dengan dinding yang tipis sehingga menghasilkan pipa yang relatif ringan dan bermutu tinggi.

c. Pipa PVC (*Poly Vinyl Chloride*)

Pipa ini terbuat dari butir-butir *Poly Vinyl Chloride* yang dicampur dengan bahan tambah sampai dengan 6% dan dipanaskan.

d. Pipa HDPE

Pipa dengan daya lentur yang tinggi luar dan dalam permukaan pipa, serta dapat digunakan di daerah berbukit, rawan gempa, dan daerah rawa.

3. Meter Air

Meter air berfungsi untuk mengukur besar aliran yang melalui suatu pipa.

4. *Flow restrictor*

Flow restrictor berfungsi untuk pembatas air baik untuk rumah maupun kran umum agar aliran merata.

5. Alat Sambung

Macam-macam alat sambung yang dapat digunakan dalam perencanaan jaringan pipa distribusi, yaitu:

- a. *Tee*, berfungsi untuk mengalirkan air dengan cara menyilang.
- b. *Elbow*, digunakan untuk arah berbingkai atau lingkaran.
- c. *Socket*, berfungsi untuk penyambung dua pipa yang berdiameter sama.
- d. *Valve*, berfungsi menutup, membuka aliran dan mengontrol tekanan aliran.
- e. *Reducer*, berfungsi untuk menyambung dua pipa yang berdiameter berbeda.

2.3.3 Metode Distribusi Air

Metode distribusi adalah suatu proses distribusi air ke penduduk dengan berbagai metode. Metode yang digunakan adalah:

1. Metode Distribusi Gravitasi (*Gravity Distribution Method*)

Metode Distribusi Gravitasi adalah salah satu metode yang paling sederhana dan efisien dalam mendistribusikan air bersih dari sumber ke sambungan rumah dengan memanfaatkan perbedaan elevasi. Dalam sistem ini, air mengalir dari tempat yang lebih tinggi (misalnya, reservoir di atas bukit atau menara air) ke tempat yang lebih rendah melalui jaringan pipa dengan menggunakan gaya gravitasi.

Cara kerja metode ini yaitu dengan menyimpan air di reservoir atau tangki penampung yang terletak di lokasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan area distribusi. Dengan perbedaan ketinggian ini, gaya gravitasi memungkinkan air mengalir ke bawah dengan sendirinya ke jaringan distribusi, tanpa perlu menggunakan pompa. Tekanan air yang dihasilkan tergantung pada perbedaan ketinggian antara reservoir dan konsumen, serta desain dan ukuran jaringan pipa.

2. Metode Distribusi Pemompaan (*Pumping Distribution Method*)

Metode distribusi pemompaan adalah sistem yang menggunakan pompa mekanis untuk mendistribusikan air dari sumber seperti sumur bor, reservoir, atau tangki air menuju jaringan pipa distribusi yang mengarah ke sambungan rumah. Sistem ini sering digunakan di daerah dengan topografi datar, di mana gravitasi tidak cukup untuk mengalirkan air dengan tekanan yang memadai, atau di wilayah di mana sumber air terletak di bawah permukaan tanah.

Cara kerja metode ini yaitu pompa digunakan untuk memberikan tekanan yang diperlukan agar air dapat mengalir dari sumber ke jaringan distribusi. Air dipompa dari sumber air bawah tanah (seperti sumur bor atau akuifer) ke reservoir atau langsung ke jaringan distribusi. Tekanan yang dihasilkan oleh pompa harus cukup untuk mengatasi hambatan hidrolik dalam pipa dan menjaga tekanan yang memadai di seluruh titik distribusi.

2.3.4 Pipa Distribusi Air

Pipa distribusi air dalam sistem penyediaan air bersih bertujuan untuk mengalirkan air bersih dari sumbernya kepada penduduk. Pipa distribusi biasanya terdiri dari beberapa jenis, antara lain:

1. Pipa induk adalah pipa utama dalam sistem distribusi air. Pipa ini memiliki ukuran yang lebih besar dan berfungsi untuk membawa aliran air dari sumber yang kemudian didistribusikan ke pipa-pipa cabang.
2. Pipa cabang berfungsi sebagai penghubung antara pipa induk dan pipa dinas. Ukurannya lebih kecil dibandingkan pipa induk. Pipa cabang mengalirkan air dari pipa induk ke berbagai area atau wilayah.
3. Pipa dinas adalah pipa yang langsung melayani penduduk. Pipa dinas membawa air dari pipa cabang ke rumah-rumah atau bangunan. Pipa ini memiliki ukuran yang lebih kecil dan dirancang untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari.
4. Pipa pelayanan (*Service Pipe*) adalah Pipa yang menghubungkan pipa dinas dengan meter air di rumah atau bangunan. Ini adalah pipa terakhir dalam sistem distribusi yang mengalirkan air langsung kepada penduduk.
5. Pipa penghubung (*Connector Pipe*) adalah Pipa yang digunakan untuk menghubungkan pipa-pipa lainnya dalam sistem distribusi, membantu menjaga kesinambungan aliran air.

Adapun standar tebal pipa distribusi yang akan digunakan dalam sistem distribusi air bersih dapat dilihat pada tabel 2.7 berikut ini.

Tabel 2.7 Tebal Pipa HDPE

ND (inch)	OD (mm)	PN-16 (mm)	PN-12,5 (mm)	PN-10 (mm)	PN-8 (mm)	PN-6,3 (mm)
1/2"	20	1,9	-	-	-	-
3/4"	25	2,3	-	-	-	-
1"	32	2,9	-	-	-	-
1-1/4"	40	3,7	-	2,4	-	-
1-1/2"	50	4,6	3,7	3,0	-	-
2"	63	5,8	4,7	3,8	-	-
2-1/2"	75	6,8	5,5	4,5	3,6	-
3"	90	8,2	6,6	5,4	4,3	3,5
4"	110	10,0	8,1	6,6	5,3	4,3
5"	125	11,4	9,2	7,4	6,0	4,8
5"	140	12,7	10,3	8,3	6,7	5,4

Sumber: SNI 06-4829-2005

Adapun kriteria jaringan pipa distribusi yang akan digunakan dalam sistem distribusi air bersih dapat dilihat pada tabel 2.8 berikut ini.

Tabel 2.8 Kriteria Pipa Distribusi Air Bersih

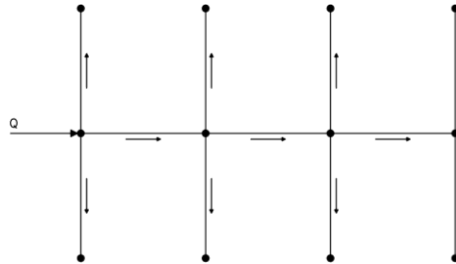
Kriteria	Perubahan
Kecepatan (<i>Velocity</i>) (0,3 – 4,5 m/detik)	Kecepatan kurang dari 0,3 m/detik a. Diameter pipa diperkecil b. Ditambahkan pompa c. Elevasi hulu pipa hendaknya lebih tinggi (disesuaikan di lapangan) Kecepatan lebih dari 4,5 m/detik a. Diameter pipa diperbesar b. Elevasi pipa bagian hulu terlalu besar dibandingkan dengan hilir
<i>Headloss Gradient</i> (0 – 15 m/km)	<i>Headloss Gradient</i> lebih dari 15 m/km a. Diameter pipa diperbesar b. Elevasi pipa bagian hulu terlalu besar dibandingkan dengan hilir pipa
Tekanan (<i>Pressure</i>) (0,5 – 8 atm)	Tekanan kurang dari 0,5 atm a. Diameter pipa diperbesar b. Ditambahkan pompa c. Pemasangan pipa yang kedua di bagian atas, Sebagian atau keseluruhan dari panjang pipa Tekanan lebih dari 8 atm a. Diameter diperkecil b. Ditambahkan bangunan bak pelepas tekan c. Pemasangan <i>Pressure Reducer Valve</i> (PRV)

Sumber: PERMENPU No.18, 2007

2.3.5 Pola Jaringan Distribusi Air

1. Sistem Jaringan Bercabang (*Branch System*)

Pada sistem ini ujung pipa cabang dari pipa utama biasanya tertutup sehingga menyebabkan tertutupan kotoran yang mengganggu pendistribusian air.

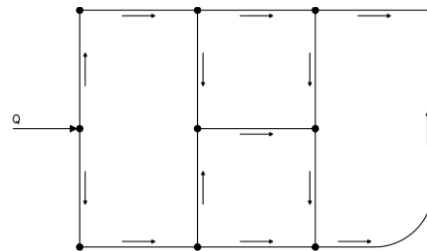


Gambar 2.11 Sistem Bercabang

Sumber: PERPAMSI, 2006

1. Sistem Jaringan Melingkar (*Grid System/Loop*)

Pada sistem ini ujung-ujung pipa cabang disambungkan satu sama lain, sistem ini lebih baik dari sistem pipa bercabang karena sirkulasinya lebih baik dan kecil kemungkinan aliran menjadi tertutup atau stagnasi.

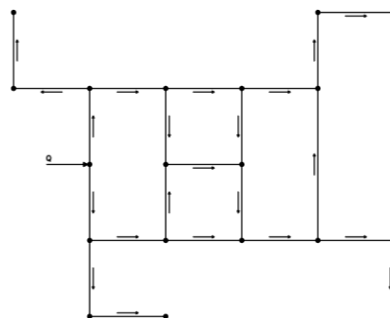


Gambar 2.12 Sistem Melingkar

Sumber: PERPAMSI, 2006

2. Sistem Jaringan Gabungan (*Combination System*)

Sistem jaringan perpipaan kombinasi merupakan gabungan dari sistem jaringan bercabang (*Branch System*) dan sistem jaringan melingkar (*Loop System*).



Gambar 2.13 Sistem Gabungan

Sumber: PERPAMSI, 2006

2.3.6 Hidraulika Aliran pada Jaringan Pipa

1. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dalam pipa berbeda-beda tergantung jenis pipa yang digunakan, hal ini juga akan disesuaikan dengan kondisi kemiringan lahan maupun adanya penambahan tekanan dari adanya pemompaan. Untuk menghitung kecepatan digunakan rumus sebagai berikut (Triatmodjo, 1993).

$$Q = A \cdot V \quad (2.22)$$

$$Q = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot V \quad (2.23)$$

keterangan:

Q = debit yang mengalir ($m^3/detik$)

A = luas penampang (m^2)

V = kecepatan ($m/detik$)

2. Hukum Bernoulli

Air di dalam pipa selalu mengalir dari tempat yang memiliki tinggi energi lebih besar menuju tempat yang memiliki tinggi energi lebih kecil. Hal tersebut dikenal dengan hukum Bernoulli, bahwa tinggi energi total pada sebuah penampang pipa adalah jumlah energi kecepatan, energi tekanan, dan energi ketinggian yang dapat ditulis sebagai berikut (Priyantoro, 1991) :

$$E_{Tot} = \text{Energi ketinggian} + \text{Energi kecepatan} + \text{Energi tekanan} \quad (2.24)$$

$$E_{Tot} = h + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma_w} \quad (2.25)$$

keterangan:

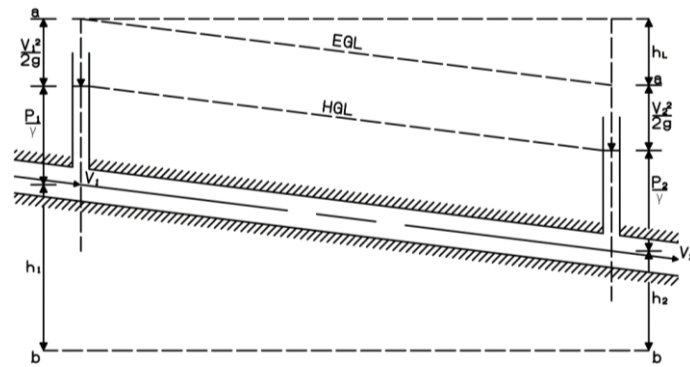
P = tekanan (kg/m^2)

γ_w = berat jenis air (kg/m^3)

V = kecepatan aliran ($m/detik$)

g = percepatan gravitasi ($m/detik^2$)

Hukum Bernoulli memberikan landasan yang kuat dalam memahami perilaku fluida dalam berbagai konteks, sambil menekankan pentingnya prinsip kekekalan energi dalam sistem tertutup. Hal tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 2.14 berikut.



Gambar 2.14 Diagram Energi dan Garis Tekanan

Sumber: Priyantoro, 1991

EGL (*Energy Grade Line*) menggambarkan tinggi *head total*, tinggi EGL adalah konstan untuk aliran tanpa gesekan. Ketika tidak ada kerja yang terjadi oleh aliran fluida. HGL (*Hydraulic Grade Line*) menunjukkan tingginya *head elevasi* dan *head static*. Dalam praktik nyata, hukum Bernoulli sering kali melibatkan faktor-faktor non-ideal seperti gesekan di dalam pipa atau perubahan bentuk aliran yang menyebabkan kehilangan energi (*head loss*). Faktor ini perlu diperhitungkan untuk mendapatkan gambaran yang lebih realistis mengenai aliran fluida di dunia nyata.

Adapun persamaan Bernoulli dalam Gambar 2.14 dapat ditulis sebagai berikut (Priyantoro, 1991):

$$h_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \quad (2.26)$$

keterangan:

$\frac{p_1}{\gamma}, \frac{p_2}{\gamma}$ = tinggi tekan di titik 1 dan 2 (m)

$\frac{v_1^2}{2g}, \frac{v_2^2}{2g}$ = tinggi energi di titik 1 dan 2 (m)

p_1, p_2 = tekanan di titik 1 dan 2 (kg/m^2)

γ_w = berat jenis air (kg/m^3)

v_1, v_2 = kecepatan aliran di titik 1 dan 2 (m/detik)

g = percepatan gravitasi (m/detik^2)

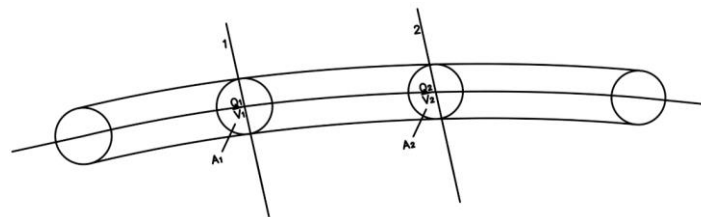
h_1, h_2 = tinggi elevasi di titik 1 dan 2 dari garis yang ditinjau (m)

h_L = kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m)

Tampak garis yang menunjukkan besarnya tekanan air pada penampang tinjauan yang dinamakan garis gradien hidrolik atau garis kemiringan hidrolik. Jarak vertikal antara pipa dengan garis gradien hidrolik menunjukkan tekanan yang terjadi dalam pipa. Pada gambar juga terlihat ada perbedaan ketinggian antara titik 1 dan 2. Perbedaan ketinggian ini menyebabkan adanya kehilangan energi (*head loss*) yang terjadi sepanjang penampang 1 dan 2. *Head loss* biasanya disebabkan oleh berbagai faktor seperti gesekan di dalam pipa, perubahan penampang aliran, atau turbulensi. Kehilangan energi ini menunjukkan bahwa sebagian energi potensial atau kinetik air hilang saat air mengalir dari titik 1 ke titik 2, dan besar kecilnya *head loss* tersebut dapat dipengaruhi oleh kecepatan aliran, kekasaran permukaan pipa, dan jarak yang ditempuh oleh aliran air.

3. Hukum Kontinuitas

Air dalam pipa mengalir secara terus menerus yang mempunyai luas penampang dan kecepatan akan mempunyai debit yang sama pada setiap penampangnya. Dalam persamaan Hukum Kontinuitas disebutkan bahwa debit yang masuk ke dalam pipa sama dengan debit yang keluar, hal ini ditunjukkan dengan Gambar 2.15 berikut:



Gambar 2.15 Aliran dengan Penampang Pipa yang Berbeda

Sumber: Triatmodjo, 1996

Hubungan antara Hukum Kontinuitas dengan ketiga bagan pada Gambar 2.15 dapat ditunjukkan dengan dua persamaan berikut (Priyantoro, 1991):

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}} \quad (2.27)$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (2.28)$$

keterangan:

Q = debit yang mengalir (m^3/detik)

A = luas penampang (m^2)

V = kecepatan (m/detik)

Hal ini juga berlaku pada pipa bercabang, debit yang masuk ke dalam pipa akan sama dengan penjumlahan dari debit-debit yang keluar dari percabangan pipa.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (2.29)$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 + A_3 \cdot V_3 \quad (2.30)$$

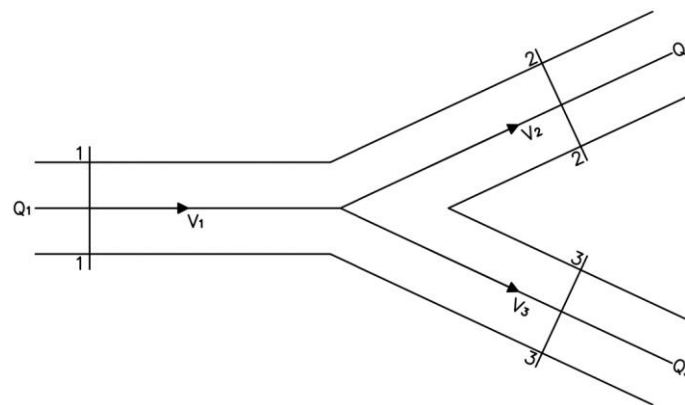
keterangan:

Q = debit yang mengalir (m^3/detik)

A = luas penampang (m^2)

V = kecepatan (m/detik)

Pada jaringan distribusi air bersih, pipa adalah komponen yang utama. Pipa memiliki fungsi sebagai media mengalirkan zat cair dari suatu titik simpul ke titik simpul yang lainnya. Aliran dalam pipa timbul apabila terjadi perbedaan tekanan pada dua tempat yang bisa terjadi karena ada perbedaan antara elevasi muka air atau digunakannya pompa.



Gambar 2.16 Persamaan Kontinuitas pada Pipa Bercabang

Sumber: Linsley, 1996

2.3.7 Kehilangan Tinggi Tekan (*Head Loss*)

1. Kehilangan Tinggi Tekan Mayor (*Major Losses*)

Perhitungan *Major Losses* pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan persamaan *Hazen-Williams*, karena metode ini sering digunakan oleh para teknisi dalam merencanakan sistem perpipaan. Selain itu, penentuan nilai koefisien masing-masing jenis bahan pipa juga lebih mudah dalam bentuk grafik seperti pada metode yang lain sehingga kesalahan dalam penentuan nilai kekasaran dapat lebih kecil. Dengan demikian, penggunaan persamaan *Hazen-Williams* dalam penelitian ini tidak hanya mempercepat proses perhitungan tetapi juga mengurangi potensi kesalahan, terutama dalam penentuan nilai

kekasaran pipa. Ini membuat metode ini sangat ideal untuk aplikasi dalam skala praktis, terutama dalam perencanaan dan desain sistem distribusi air bersih. Adapun rumus persamaan *Hazen-Williams* adalah sebagai berikut (Priyantoro, 1991):

$$Q = 0.354 \cdot C_{hw} \cdot A \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (2.31)$$

$$V = 0.354 \cdot C_{hw} \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (2.32)$$

dengan:

V = kecepatan aliran pada pipa (m/detik)

C_{hw} = koefisien kekasaran pipa *Hazen-Williams* (Tabel 2.7)

A = luas penampang aliran (m^2)

Q = debit aliran pada pipa (m^3 /detik)

S = kemiringan hidraulis

$$= \frac{hf}{L}$$

R = jari-jari hidrolis (m)

$$= \frac{A}{P} = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2}{\pi D}$$

$$= D/4$$

Tabel 2.9 Nilai koefisien *Hazen-Williams* setiap jenis pipa

Nilai C_{hw}	Jenis Pipa
120	<i>Asbes cement</i> (ACP)
120	U-PVC
130	PE
110	<i>Ductile</i> (DCIP)
110	Besi tuang (CIP)
110	GIP
110	Baja
120	<i>Pre-stress Concrete</i> (PSC)

Sumber : (SNI 7609, 2011)

2. Kehilangan Tinggi Tekan Minor (*Minor Losses*)

Kehilangan tinggi tekan minor disebabkan oleh adanya perubahan penampang pipa yang menyebabkan turbulensi, belokan-belokan, adanya katup, dan

berbagai jenis sambungan. Untuk jaringan pipa sederhana, kehilangan tinggi tekan minor tidak boleh diabaikan karena nilainya cukup berpengaruh. Namun pada pipa panjang atau $l/\text{detik} > 1000$, maka kehilangan tinggi tekan minor dapat diabaikan (Priyantoro, 1991). Kehilangan minor pada umumnya akan lebih besar bila terjadi perlambatan kecepatan aliran di dalam pipa dibandingkan peningkatan kecepatan akibat adanya pusaran arus yang ditimbulkan oleh pemisahan aliran dari bidang batas pipa (Linsley et al., 1986). Adapun persamaan-persamaan untuk menghitung kehilangan energi minor adalah sebagai berikut (Linsley, 1991):

a. Akibat pelebaran

$$h_{Lm} = K_L \cdot \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \quad (2.33)$$

b. Akibat penyempitan mendadak

$$h_{Lm} = K_L \cdot \frac{V_2^2}{2g} \quad (2.34)$$

c. Berdasarkan mulut pipa dari waduk

- Mulut lonceng

$$h_L = 0,04 \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (2.35)$$

- Tepi siku-siku

$$h_L = 0,5 \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (2.36)$$

d. Akibat belokan

$$h_{Lm} = K_L \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (2.37)$$

e. Akibat katup dan sambungan

$$h_{Lm} = K_L \cdot \frac{V_2^2}{2g} \quad (2.38)$$

keterangan:

h_{Lm} = kehilangan tinggi tekan minor (m)

V = kecepatan rata-rata dalam pipa (m/detik)

g = percepatan gravitasi (m/detik²)

K_L = koefisien kehilangan tinggi tekan minor

Besarnya nilai koefisien K sangat beragam, tergantung dari bentuk fisik pengecilan, pembesaran, pembelokan, dan katup. Namun nilai K ini masih merupakan pendekatan karena dipengaruhi bahan, kehalusan sambungan, dan umur sambungan. Adapun nilai K dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Faktor Kehilangan *Minor Losses*

Tipe dari Fiting dan Katup	Nilai K
<i>Elbow 22,5°</i>	0.2
<i>Elbow 45°</i>	0,4
<i>Elbow 90°</i>	1
<i>Gate Valve</i>	0,12
<i>Check Valve</i>	0,2
<i>Butterfly Valve</i>	0,3

Sumber : (SNI 7509, 2011)

2.3.8 Penggunaan Software EPANET 2.0

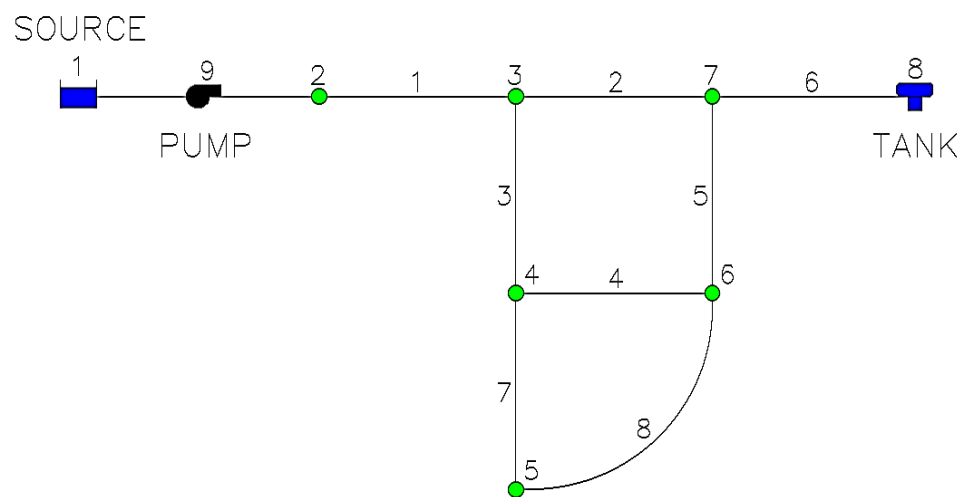
Data- data yang diperlukan dalam proses analisis sistem distribusi air bersih dengan EPANET 2.0, sebagai berikut:

1. Peta daerah distribusi air bersih
2. Data reservoir
3. Data elevasi tanah
4. Data panjang pipa dan diameter pipa
5. Data kebutuhan pelanggan

Langkah-langkah memasukkan data adalah sebagai berikut:

1. Klik pipa pada *network map*
2. Seluruh data pipa harus dimasukkan dengan cara mengetik besaran data tersebut pada *textbox*. Ulangi prosedur tersebut untuk pipa-pipa berikutnya.
3. Data elevasi yang didapat dari hasil pengukuran jalur rencana pipa distribusi dimasukkan ke dalam data node dengan cara mengklik salah satu *node*. Setelah itu akan muncul *window node*.
4. Untuk memasukkan lokasi sumber mata air yang dalam hal ini (EPANET 2.0) dinyatakan sebagai sebuah reservoir adalah dengan cara mengklik tombol reservoir pada *toolbar* kemudian klik mouse pada peta ke posisi *node/junction* yang dinyatakan sebagai reservoir.

5. Untuk memulai *running* klik ikon *run* pada *toolbar* dan akan keluar *window*. Selanjutnya untuk mengetahui hasil *running* pilih *Browser Map nodes dan links*.



Gambar 2.17 Penggambaran Jaringan Distribusi