

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Kebutuhan Air Baku

Pemilihan sumber air baku berguna untuk menentukan sumber air baku bagi sistem penyediaan air bersih rencana. Pemilihan alternatif air baku dilakukan berdasarkan analisis kuantitas sumber air baku, sehingga dapat diketahui apakah kuantitas atau ketersediaan air baku masih mencukupi bila diambil untuk keperluan penyediaan air bersih. Dasar dalam perhitungan ketersediaan air baku adalah:

1. Debit atau volume maksimum dan minimum air baku selama beberapa tahun terakhir.
2. Pemanfaatan sumber air baku.

Selain itu pemilihan sumber air baku juga didasarkan pada perkiraan kualitas air baku tersebut, dimana air baku yang baik akan memudahkan proses pengolahan. Analisa sumber air baku ini meliputi :

#### A. Inventarisasi Sumber Air baku

Inventarisasi sumber air baku adalah menentukan sumber air baku rencana yang akan digunakan dalam pemenuhan kebutuhan air. Sumber air baku yang akan dimanfaatkan bisa dapat berupa air permukaan, air bawah permukaan dan mata air

(<https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:IJCo6MgKh6QJ:eprints.undip.ac.id>)

#### B. Alternatif Pemilihan Lokasi

Pemilihan lokasi penempatan sistem penyediaan air bersih rencana bertujuan untuk menentukan lokasi penempatan yang tepat. Pemilihan lokasi didasarkan pada analisis masing-masing alternatif lokasi. Pertimbangan dalam pemilihan lokasi rencana antara lain :

1. Elevasi lokasi, dimana direncanakan pengaliran air dilakukan secara gravitasi.
2. Kepemilikan lahan sekitar lokasi rencana.
3. Jarak lokasi dengan daerah layanan.

4. Lokasi sumber air baku.
5. Kebutuhan pipa transmisi.

## 2.2 Jaringan Pipa

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran, dan digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh. Fluida yang dialirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas, dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Apabila zat cair di dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka. Karena mempunyai permukaan bebas, maka fluida yang dialirkan adalah zat cair. Tekanan di permukaan zat cair di sepanjang saluran terbuka adalah tekanan atmosfer (Triatmodjo, 1996 : 25).

### 2.2.1 Hidrolika Aliran pada Jaringan Pipa

Analisa ini berhubungan dengan hukum *Bernoulli* dan hukum kontinuitas yang berpengaruh terhadap jaringan pipa. Aliran dalam pipa memiliki tiga macam energi yang bekerja di dalamnya, yaitu :

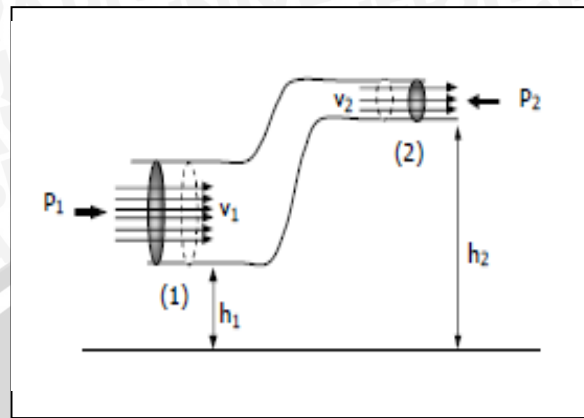
1. Energi ketinggian
2. Energi tekanan
3. Energi kecepatan

Hal tersebut dikenal dengan prinsip Bernoulli bahwa tinggi energi total pada sebuah penampang pipa adalah jumlah energi kecepatan, energi tekanan dan energi ketinggian yang dapat ditulis sebagai berikut :

$E_{Tot} = \text{Energi ketinggian} + \text{Energi kecepatan} + \text{Energi tekanan}$

$$= Z + \frac{P}{w} + \frac{V^2}{2g} \quad (2-6)$$

### A. Hukum Bernoulli



Gambar 2.1 usaha – energi mekanik

(sumber : <https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:sWXw2sR1M5CJ:si.itats.ac.id>)

Ditinjau dari gambar diatas, maka berdasarkan konsep: usaha – energi mekanik yang melibatkan besaran tekanan  $p$  (usaha), besaran kecepatan aliran fluida  $v$  (mewakili energi kinetic), dan besaran ketinggian (mewakili energi potensial), Bernoulli menurunkan persamaan matematis, yang dikenal dengan Persamaan Bernoulli, sebagai berikut:

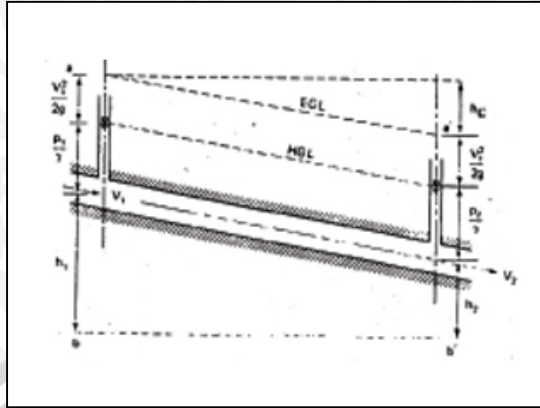
$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2 \longrightarrow \text{Persamaan Bernoulli} \quad (2-7)$$

Dan atau,

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{konstan} \quad (2-8)$$

Jadi persamaan Bernoulli menyatakan bahwa jumlah dari tekanan, energi kinetic per satuan volume, dan energi potensial persatuan volume memiliki nilai yang sama pada setiap titik sepanjang suatu garis arus.

Menurut teori kekekalan energi dari hukum Bernoulli yakni apabila tidak ada energi yang lolos atau diterima antara dua titik dalam satu sistem tertutup, maka energi totalnya tetap konstan. Hal tersebut dapat dijelaskan pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.2. Diagram Energi dan Garis Tekan  
(Sumber : Haestad. 2001 : 268.Pdf)

Hukum kekekalan Bernoulli pada gambar di atas dapat ditulis sebagai berikut (Haestad, 2002 : 267.Pdf) :

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_L \quad (2-9)$$

Dengan :

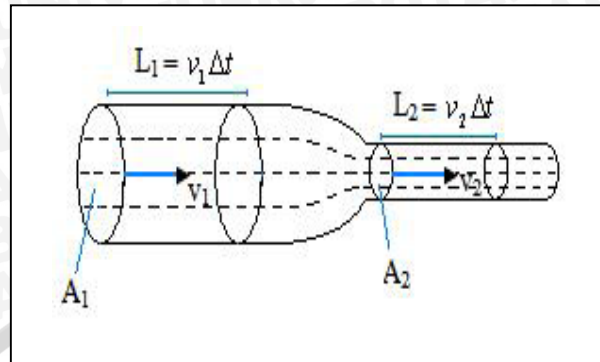
$$\frac{P_1}{\gamma}, \frac{P_2}{\gamma} = \text{tinggi tekan di titik 1 dan 2 (m)} \quad (2-10)$$

$$\frac{v_1^2}{2g}, \frac{v_2^2}{2g} = \text{tinggi tekan di titik 1 dan 2 (m)} \quad (2-11)$$

$P_1, P_2$  = tekanan di titik 1 dan 2 ( $\text{kg/cm}^2$ ),  $\gamma_w$  = berat jenis air ( $\text{kg/cm}^3$ ),  
 $v_1, v_2$  = kecepatan aliran di titik 1 dan 2 (m/detik),  $g$  = percepatan gravitasi  
 ( $\text{m/detik}^2$ );  $Z_1, Z_2$  = tinggi elevasi di titik 1 dan 2 dari garis yang ditinjau (m);  
 $h_L$  = kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m).

**B. Persamaan kontinuitas**

Persamaan Kontinuitas adalah suatu ungkapan matematis mengenai hal bahwa jumlah netto massa yang mengalir ke dalam sebuah permukaan terbatas sama dengan pertambahan massa di dalam permukaan itu.



Gambar 2.3 Aliran fluida.

(sumber : <https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:sWXw2sR1M5cJ:si.itats.ac.id>)

Gambar di atas menunjukkan aliran fluida dari kiri ke kanan ( fluida mengalir dari pipa yang berdiameter besar menuju diameter yang kecil ). Garis putus-putus merupakan garis arus.

Keterangan gambar :

$A_1$  = luas penampang bagian pipa yang berdiameter besar.

$A_2$  = luas penampang bagian pipa yang berdiameter kecil.

$v_1$  = kecepatan aliran fluida pada bagian pipa yang berdiameter besar.

$v_2$  = kecepatan aliran fluida pada bagian pipa yang berdiameter kecil.

$L$  = jarak tempuh fluida.

Hukum kontinuitas yang dituliskan :

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

dengan :  $Q_1$  = debit pada potongan 1 ( /detik)

$Q_2$  = debit pada potongan 2 ( /detik)

$A_1$  = luas penampang pada potongan 1 ( )

$A_2$  = luas penampang pada potongan 2 ( )

$v_1$  = kecepatan pada potongan 1 (m/detik)

$V_2$  = kecepatan pada potongan 2 (m/detik)

Pada aliran percabangan pipa juga berlaku hukum kontinuitas dimana debit yang masuk pada suatu pipa sama dengan debit yang keluar pipa. Hal tersebut diilustrasikan sebagai berikut:

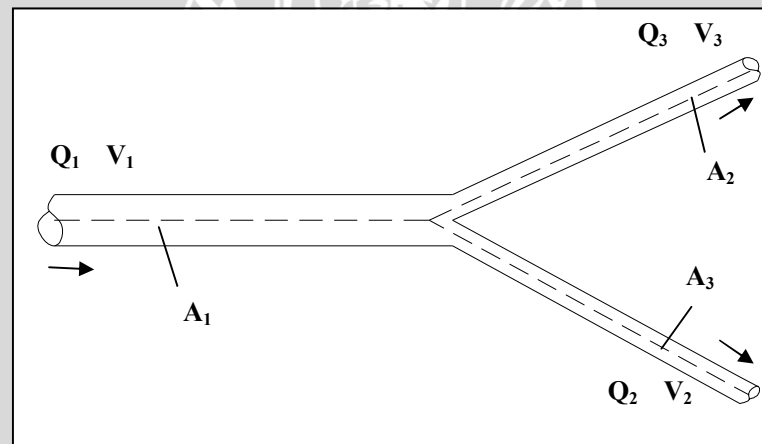
$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

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

Dengan :  $Q_1, Q_2, Q_3$  = Debit yang mengalir pada penampang 1, 2 dan 3 ( $m^3/detik$ ) dan  $V_1, V_2, V_3$  = Kecepatan pada penampang 1, 2 dan 3 (m/detik)

Pada fluida dinamis, terdapat beberapa sub bab yang membahas tentang aliran fluida yang tak termampatkan, tak kental, tak berolak dan tunak.

Apabila pipa bercabang seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.4., maka debit aliran yang menuju titik cabang harus sama dengan debit yang meninggalkan titik tersebut.



Gambar 2.4. Persamaan kontinuitas pada pipa bercabang

Sumber: Triatmodjo, 1993:137

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (2-12)$$

atau

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 + A_3 V_3 \quad (2-13)$$

Biasanya debit aliran menuju titik cabang diberi tanda positif dan yang meninggalkan diberi tanda negatif, sehingga jumlah aliran pada percabangan adalah nol.

$$\sum Q = 0 \quad (2-14)$$

dimana:

$Q_1, Q_2, Q_3$  = debit yang mengalir pada penampang 1, 2 dan 3 ( $m^3/det$ )

$V_1, V_2, V_3$  = kecepatan pada penampang 1, 2 dan 3 ( $m/det$ ).

### 2.2.2 Kehilangan Tekanan (*Head Loss*)

Secara umum didalam suatu instalasi jaringan pipa dikenal dua macam kehilangan energi :

#### A. Kehilangan Tinggi Tekan Mayor (*Major Losses*)

Ada beberapa teori dan formula untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi tekan mayor ini yaitu dari Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, Manning, Chezy, Colebrook-White dan Swamme-Jain. Dalam kajian ini digunakan persamaan Hazen-Williams (Haestad, 2001 : 278.Pdf) yaitu :

$$hf = k \cdot Q^{1,85} \quad (2-15)$$

dimana :

$$Q = 0,85 \cdot C_{hw} \cdot A \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (2-16)$$

$$K = \frac{10,7 L}{C_{hw}^{1,8} D^{4,87}} \quad (2-17)$$

dengan :

$Q$  = debit aliran pada pipa ( $m^3/det$ ),  $0,85$  = konstanta,  $C_{hw}$  = koefisien kekasaran Hazen-Williams,  $A$  = Luas penampang aliran ( $m^2$ )

$$R = \text{Jari-jari hidrolis (m)} = \frac{A}{P} = \frac{\frac{1}{4} \pi D^2}{D} \quad (2-18)$$

$$S = \text{kemiringan garis energi (m/m)} = \frac{hf}{L} \quad (2-19)$$

$hf$  = kehilangan tinggi tekan mayor (m),  $D$  = Diameter pipa (m),  $k$  = koefisien karakteristik pipa,  $L$  = panjang pipa (m).

**Tabel 2.1. Koefisien Gesekan untuk Berbagai Jenis dan Kondisi Pipa**

<i>pipe materials</i>	CHW
Asbestos Cement	140
Brass	130-140
Brick Sewer	100
Cast Iron	
New Unlined	130
10yr, old	107-113
20yr, old	89-100
30yr, old	75-90
40yr, old	64-83
Concrete or concrete lined	
steel forms	140
wooden forms	120
centrifugally spun	135
Copper	130-140
Galvanized iron	120
Glass	140
Lead	130-140
Plastic	140-150
Stell	
Coul-tarenameel lined	145-150
new unlined	140-150
riveled	110
Tin	130
Vitrivied elay (good condition)	110-140
Wood stave (average condition)	120

Sumber : Priyantoro, 1991 : 20

## **B. Kehilangan Tinggi Tekan Minor (Minor Losses)**

Ada berbagai macam kehilangan tinggi tekan minor sebagai berikut:

1. Kehilangan Tinggi Minor karena Pelebaran Pipa
2. Kehilangan Tinggi Minor karena Penyempitan Mendadak pada Pipa
3. Kehilangan Tinggi Minor karena Mulut Pipa
4. Kehilangan Tinggi Minor karena Belokan pada Pipa
5. Kehilangan Tinggi Minor karena Sambungan dan Katup pada Pipa

### **2.2.3 Sistem Perpipaan**

Sistem perpipaan dalam jaringan ini dapat dibagi menjadi dua yaitu hubungan seri dan hubungan paralel. Penggunaan dua sistem perpipaan ini bergantung pada kondisi lapangan dan melihat tingkat kebutuhan airnya.



Tabel 2.2. Koefisien kehilangan tinggi tekan karena bentuk pipa

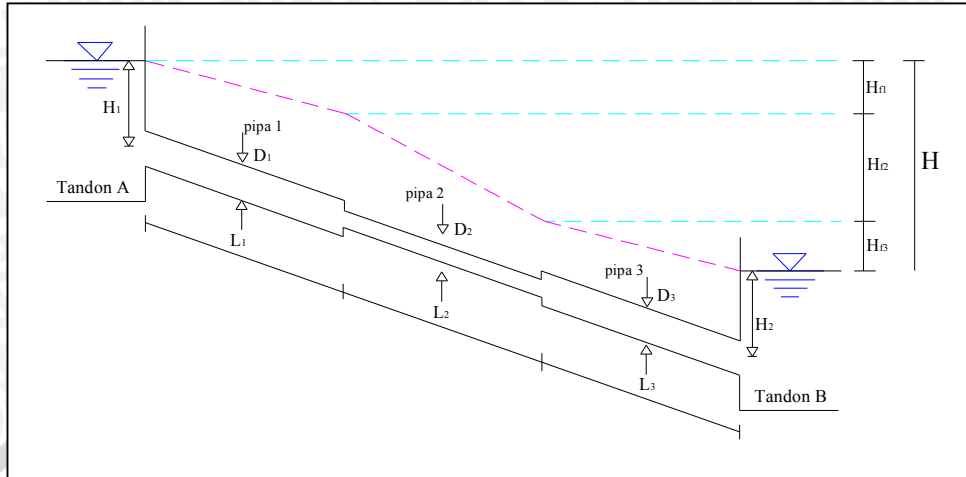
Jenis perubahan bentuk pipa	k	Jenis perubahan bentuk pipa	k
<b>Inlet</b>		<b>Belokan 90°</b>	
Bell mounth	0,03 – 0,05	R/D = 4	0,16-0,18
Rounded	0,12-0,25	R/D = 2	0,19-0,25
Sharp Edged	0,50	R/D = 1	0,35-0,40
Projecting	0,80	<b>Belokan Tertentu</b>	
<b>Pengecilan Tiba-tiba</b>		$\theta = 15^\circ$	0,05
$D_2/D_1 = 0,80$	0,18	$\theta = 30^\circ$	0,10
$D_2/D_1 = 0,50$	0,37	$\theta = 45^\circ$	0,20
$D_2/D_1 = 0,20$	0,49	$\theta = 60^\circ$	0,35
<b>Pengecilan Mengerucut</b>		$\theta = 90^\circ$	0,80
$D_2/D_1 = 0,80$	0,05	<b>T (Tee)</b>	
$D_2/D_1 = 0,50$	0,07	Aliran searah	0,03-0,04
$D_2/D_1 = 0,20$	0,08	Aliran bercabang	0,75-1,80
<b>Pembesaran Tiba-tiba</b>		<b>Persilangan</b>	
$D_2/D_1 = 0,80$	0,16	Aliran searah	0,50
$D_2/D_1 = 0,50$	0,57	Aliran bercabang	0,75
$D_2/D_1 = 0,20$	0,92	<b>45° Wye</b>	
<b>Pembesaran Mengerucut</b>		Aliran searah	0,30
$D_2/D_1 = 0,80$	0,03	Aliran bercabang	0,50
$D_2/D_1 = 0,50$	0,08		
$D_2/D_1 = 0,20$	0,13		

Sumber: Bentley, 2007

Besarnya nilai koefisien "k" sangat beragam, tergantung dari bentuk fisik pipa. Namun nilai koefisien "k" masih merupakan pendekatan karena dipengaruhi bahan, kehalusan sambungan, dan umur sambungan pipa.

### 1. Pipa Hubungan Seri

Pada hubungan seri, debit aliran di semua titik adalah sama sedangkan kehilangan tekanan di semua titik berbeda. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.5. Pipa hubungan seri  
 Sumber: Triatmodjo (1993:74)

Adapun persamaan kontinuitasnya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \tag{2-20}$$

Sedangkan untuk total kehilangan tekanan pada pipa yang terpasang secara seri dirumuskan sebagai berikut.

$$H = H_{f1} + H_{f2} + H_{f3} \tag{2-21}$$

dimana:

- $Q$  = total debit pada pipa yang terpasang secara seri ( $m^3/det$ )
- $Q_1, Q_2, Q_3$  = debit pada tiap pipa ( $m^3/det$ )
- $H$  = total kehilangan tekan pada pipa yang terpasang secara seri (m)
- $H_{f1}, H_{f2}, H_{f3}$  = kehilangan tekan pada tiap pipa (m)

## 2. Pipa Hubungan Paralel

Pada keadaan dimana aliran melalui dua atau lebih pipa dihubungkan secara paralel seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.15. Persamaan kontinuitasnya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \tag{2-22}$$

Persamaan energi untuk pipa sambungan paralel:

$$H = H_{f1} = H_{f2} = H_{f3} \tag{2-23}$$

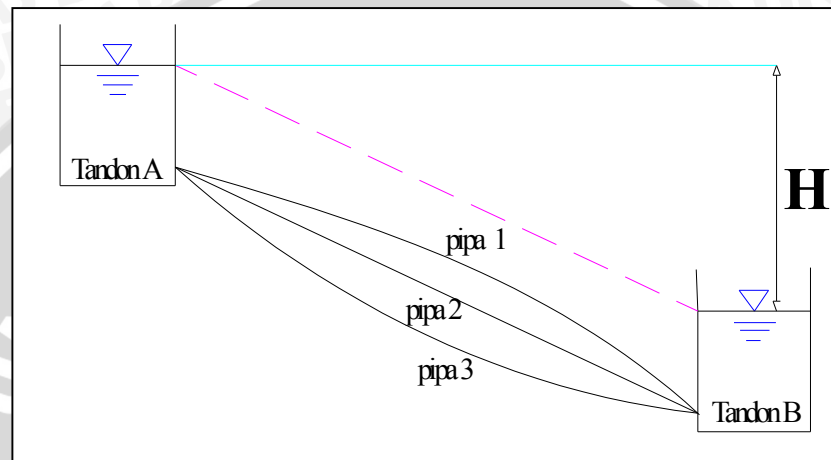
dimana:

$Q$  = total debit pada pipa yang terpasang secara paralel ( $m^3/det$ )

$Q_1, Q_2, Q_3$  = debit pada tiap pipa ( $m^3/det$ )

$H$  = total kehilangan tekan pada pipa yang terpasang secara paralel (m)

$H_{f1}, H_{f2}, H_{f3}$  = kehilangan tekan pada tiap pipa (m)



Gambar 2.6. Pipa hubungan paralel

Sumber: Triatmojo (1993:79)

#### 2.2.4 Jaringan Pipa Transmisi

Susunan jaringan pipa transmisi dapat ditinjau berdasarkan debit air baku yang akan diolah, jumlah jaringan serta jumlah konsumen. Ditinjau dari sistemnya, jaringan transmisi terdiri dari:

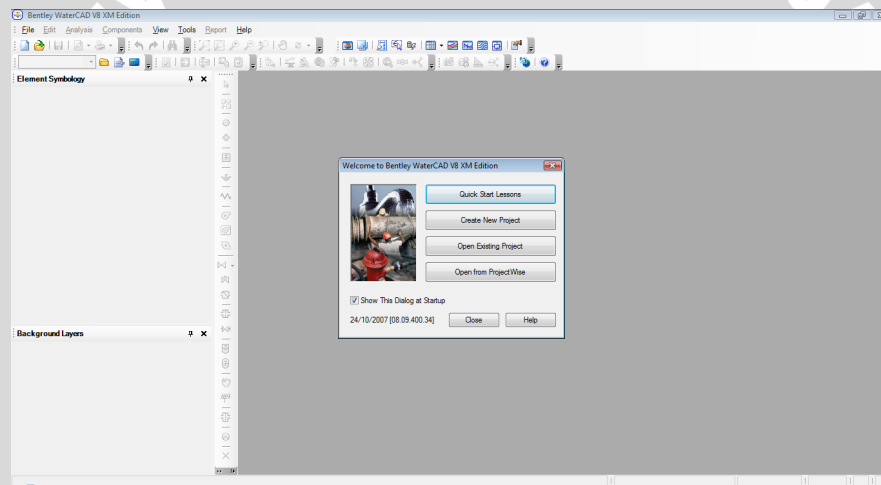
1. Mono jaringan dipakai untuk melayani satu lokasi. Secara teknis sistem dengan mono jaringan menggunakan satu pipa transmisi untuk satu daerah layanan.
2. Multi jaringan dipakai untuk melayani lebih dari satu lokasi pelayanan. Pada multi jaringan satu pipa transmisi digunakan lebih dari satu daerah pelayanan.

#### 2.2.5 *WaterCAD ver 8 XM Edition*

Program *waterCAD ver 8 XM edition* merupakan produksi dari Bentley dengan jumlah pipa yang mampu dianalisis yaitu lebih dari 250 buah pipa sesuai dengan spesifikasi program tersebut. Program *waterCAD ver 8 XM edition* memiliki tampilan yang memudahkan pengguna untuk menyelesaikan lingkup perencanaan dan pengoptimalisasian sistem jaringan perpipaan, seperti:

- menganalisis jaringan perpipaan pada satu kondisi waktu (kondisi permanen).
- menganalisis tahapan-tahapan simulasi pada sistem jaringan terhadap adanya kebutuhan air yang berfluktuatif menurut waktu (kondisi tidak permanen).
- menganalisis kualitas air pada sistem jaringan perpipaan.
- menghitung konstruksi biaya dari sistem jaringan perpipaan yang dibuat.

Setiap pembukaan awal program *waterCAD ver 8 XM edition*, akan diperlihatkan sebuah *dialog box* yang disebut *welcome dialog*. Kotak tersebut memuat *quick start leason*, *create newproject*, *open existing project* serta *open from project wise* seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.7. Tampilan *welcome dialog* pada *waterCAD ver 8 XM edition*

*Quick start leason* digunakan untuk mempelajari program dengan melihat contoh jaringan yang telah disediakan. *WaterCAD ver 8 XM edition* akan menuntun kita memahami cara menggunakan program ini. Dan *create new project* digunakan untuk membuat lembar kerja baru.

### 1. Pembuatan lembar kerja

Pembuatan lembar kerja baru pada program ini dapat dilakukan dengan memilih *create new project* pada *welcome dialog*. Setelah masuk ke dalam lembar kerja baru tampilkan *background layers* dengan cara klik kanan *background layers – new – file* dan pilih *file dxf*. Selanjutnya *file dxf* terpilih masuk dalam *dxf properties* dan unit diganti dalam meter. *Background Layers* muncul dalam tampilan maka perencanaan atau penggambaran jaringan bisa dilakukan. Proses

selanjutnya mengisi data-data teknis dan pemodelan komponen-komponen sistem jaringan perpipaan yang dipakai dalam penggambaran.

## 2. Pemodelan komponen sistem jaringan perpipaan

Komponen-komponen sistem jaringan perpipaan seperti titik reservoir, pipa, titik simpul (*junction*), tandon dimodelkan sedemikian rupa sehingga mendekati kinerja komponen tersebut di lapangan. Untuk keperluan pemodelan, *waterCAD ver 8 XM edition* telah memberikan penamaan setiap komponen tersebut secara otomatis yang dapat diganti sesuai dengan keperluan agar memudahkan dalam pengerjaan suatu komponen tertentu. Adapun jenis-jenis pemodelan komponen sistem jaringan tersebut sebagai berikut.

### a. Pemodelan mata air (*reservoir*)

Pada program *waterCAD ver 8 XM edition*, *reservoir* (R) digunakan sebagai model dari suatu sumber air. *Reservoir* dimodelkan sebagai sumber air yang tidak bisa habis atau elevasi air selalu berada pada elevasi konstan pada saat berapapun kebutuhan airnya. Data yang dibutuhkan untuk memodelkan *reservoir* (R) adalah kapasitas debit dan elevasi mata air tersebut.

### b. Pemodelan tandon (*watertank*)

Untuk pemodelan tandon (T) diperlukan beberapa data yaitu ukuran bentuk dan elevasi tandon. Data elevasi yang dibutuhkan oleh tandon meliputi tiga macam yaitu elevasi maksimum, elevasi minimum dan elevasi awal kerja (*initial elevation*) dimana elevasi awal kerja harus berada pada kisaran elevasi minimum dan elevasi maksimum.

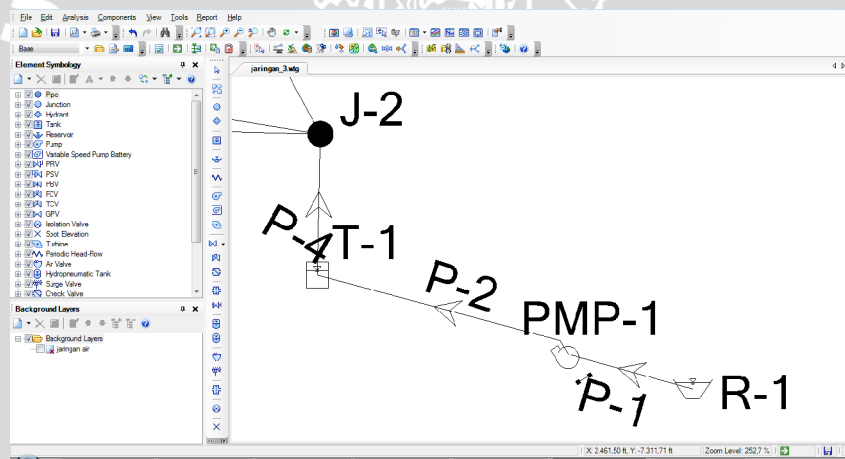
### c. Pemodelan titik-titik simpul (*junction*)

Titik simpul merupakan suatu simbol yang mewakili atau komponen yang bersinggungan langsung dengan konsumen dalam hal pemberian air baku. Ada dua tipe aliran pada titik simpul ini, yaitu berupa kebutuhan air (*demand*) dan berupa aliran masuk (*inflow*). Jenis aliran yang berupa kebutuhan air baku digunakan bila pada simpul tersebut ada pengambilan air, sedangkan aliran masuk digunakan bila pada titik simpul tersebut ada tambahan debit yang masuk. Data yang dibutuhkan sebagai masukan bagi titik simpul antara

lain elevasi titik simpul dan data kebutuhan air baku pada titik simpul tersebut.

#### d. Pemodelan pipa

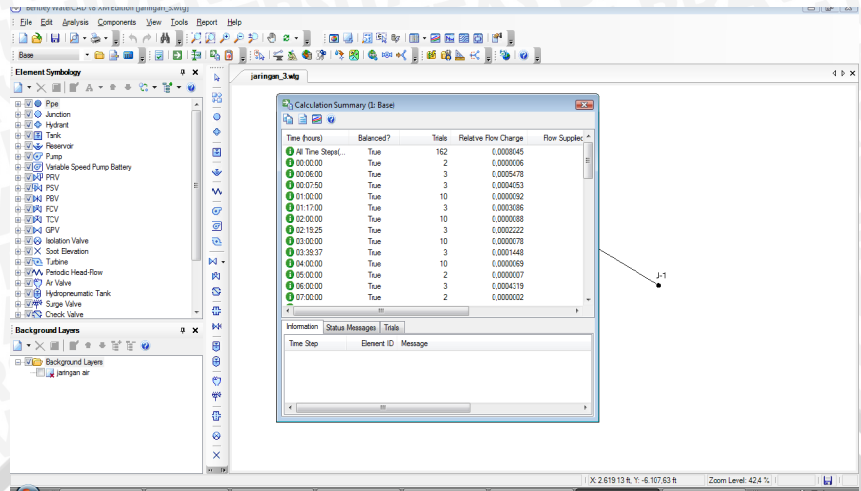
Pipa adalah suatu komponen yang menghubungkan katup (*valve*), titik simpul, pompa dan tandon. Untuk memodelkan pipa, memerlukan beberapa data teknis seperti jenis bahan, diameter dan panjang pipa. Jenis bahan pipa telah disediakan sehingga dapat dipilih secara langsung sesuai dengan jenis bahan pipa yang digunakan. Sedangkan diameter dan panjang pipa dapat dirancang sesuai dengan kondisi di lapangan. Apabila diatur secara skalatis, maka ukuran panjang pipa secara otomatis berubah sesuai dengan perbandingan skala ukuran yang dipakai. Sedangkan dalam pengaturan skematis, panjang pipa dapat diatur tanpa memperhatikan panjang pipa di layar komputer.



Gambar 2.8. Komponen jaringan perpipaan

### 3. Perhitungan dan analisis sistem jaringan perpipaan

Setelah jaringan tergambar dan semua komponen tertata sesuai dengan yang direncanakan, maka untuk menganalisis sistem jaringan tersebut dilakukanlah *running program (calculate)*.



Gambar 2.9. Tampilan hasil running program (calculate)

