

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2005 Air baku adalah air yang dapat berasal dari sumber air permukaan, cekungan air tanah dan atau air hujan yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air bersih untuk air minum. Air bersih adalah air yang dipergunakan untuk keperluan sehari hari dan akan menjadi air minum setelah dimasak terlebih dahulu. Sebagai batasannya air bersih adalah air yang memenuhi persyaratan bagi sistem penyediaan air minum. Air bersih disini kita kategorikan hanya untuk yang layak dikonsumsi dan layak untuk digunakan sebagai penunjang aktifitas seperti untuk MCK. Karena itu standar air yang digunakan untuk konsumsi lebih tinggi daripada untuk keperluan selain dikonsumsi. Ada beberapa persyaratan yang perlu diketahui mengenai kualitas air tersebut baik secara fisik, kimia radiologis dan juga mikrobiologi.. Sehingga apabila dikonsumsi tidak menimbulkan efek samping.

2.2 Analisa Data Kependudukan

2.2.1 Proyeksi Jumlah Penduduk

Dalam melakukan perencanaan pemanfaatan air ke depan dibutuhkan untuk mengetahui jumlah penduduk dan kebutuhan air rata-rata setiap hari di masa depan. Maka dilakukanlah proyeksi jumlah penduduk, dalam kajian ini proyeksi atau perkiraan jumlah penduduk dilakukan sampai 10 tahun ke depan. Untuk memperkirakan proyeksi jumlah penduduk dapat dilakukan dengan 3 metode, yaitu :

2.2.1.1 Metode Aritmatik

Dirumuskan sebagai berikut :

$$P_n = P_o (1 + r.n) \quad (2-1)$$

$$r = \frac{1}{n} \left[\frac{P_n}{P_o} - 1 \right] \quad (2-2)$$

Dimana :

P_n = Jumlah penduduk pada tahun n (jiwa)

P_o = Jumlah penduduk pada tahun akhir data (jiwa)

r = Angka pertumbuhan penduduk (%)

n = Periode waktu (tahun)

2.2.1.2 Metode Geometrik

Metode ini adalah metode rumus bunga berganda. Dalam metode ini pertumbuhan rata-rata penduduk berkisar pada presentase r yang konstan setiap tahun. Perhitungan dengan metode ini dirumuskan sebagai berikut :

$$P_n = P_o + (1 + r)^n \quad (2-3)$$

$$r = \left[\frac{P_n}{P_o} \right]^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (2-4)$$

P_n = Jumlah penduduk pada tahun n (jiwa)

P_o = Jumlah penduduk pada tahun akhir data (jiwa)

r = Angka pertumbuhan penduduk (%)

n = Periode waktu (tahun)

2.2.1.3 Metode Eksponensial

Perkembangan jumlah penduduk berdasarkan metode eksponensial dirumuskan sebagai berikut :

$$P_n = P_o \cdot e^{(r \cdot n)} \quad (2-5)$$

$$r = \frac{1}{n} \text{Ln} \left[\frac{P_n}{P_o} \right] \quad (2-6)$$

Dimana :

P_n = Jumlah penduduk pada tahun n (jiwa)

P_o = Jumlah penduduk pada tahun akhir data (jiwa)

r = Angka pertumbuhan penduduk (%)

n = Periode waktu (tahun)

e = bilangan eksponensial = 2,718282

2.2.2 Uji Kesesuaian Metode Proyeksi

Pemilihan ketiga metode diatas dilakukan berdasarkan cara statistik yaitu berdasarkan pada koefisien korelasi yang mendekati 1 dimana angka ini sebagai indikasi bahwa korelasi antar 2 variabel berarti positif atau kuat sekali. Berikut rumus untuk menghitung besaran koefisiensi korelasi yaitu :

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (2-7)$$

dimana :

- X = Jumlah penduduk data (jiwa)
- Y = Jumlah penduduk hasil proyeksi (jiwa)
- r = koefisien korelasi
- n = Periode waktu (tahun)

2.3 Analisa Ketersediaan dan Kebutuhan Air Bersih

Penggunaan air di suatu tempat akan berbeda satu dengan lainnya. Hal ini tergantung dari kondisi cuaca, budaya penduduk, tingkat kesejahteraan, kepadatan, industrialisasi dan faktor-faktor lainnya. Sehingga dalam perancangan suatu sistem jaringan air dan variasinya haruslah diperhitungkan secermat mungkin.

Jumlah pemakaian air suatu sistem jaringan distribusi air bersih tidak sama untuk tiap jamnya, begitu juga antara satu hari dengan hari lainnya. Perbedaan tersebut terjadi karena kebutuhan air bersih pengguna berubah terus-menerus yang dipengaruhi oleh faktor lokasi (*spatial*) dan faktor waktu (*temporal*).

2.3.1 Analisa Ketersediaan Air

Sesuai dengan kebutuhan air yang ada, maka dalam memenuhi kebutuhan air tersebut digunakanlah sumber mata air sebagai pemasok utama ketersediaan air bersih. Dalam studi ini dipakai dari 9 sumber mata air, yaitu Sumber Air perang Gedek, Teyeng, Kendil, Kali Wetan, Sukaton, Sarmi, Dok dan Sumber Urip dalam perhitungannya dari kesembilan sumber mata air tersebut akan dikumpulkan atau dikolektifkan sebelum didistribusikan ke desa-desa. Debit rata-rata didapat berdasarkan pengukuran data di

lapangan dengan 2 jenis musim. Hasil pengukuran didapatkan debit aktual dan untuk debit andalannya digunakan debit andalan (Q80).

2.3.2 Analisa Kebutuhan Air

Besarnya pemakaian air bersih pada suatu daerah tidaklah konstan, tetapi mengalami fluktuasi. Hal ini tergantung pada aktifitas keseharian dalam penggunaan air oleh masyarakat. Pada saat-saat tertentu terjadi aktifitas penggunaan air oleh masyarakat, sehingga memerlukan pemenuhan kebutuhan air bersih lebih banyak dari kondisi normal, sementara pada saat-saat tertentu juga terjadi aktifitas yang tidak memerlukan air. Pada umumnya tingkat kebutuhan air pada masyarakat dibagi menjadi 3 kelompok sebagai berikut :

1. Kebutuhan air rata-rata, yaitu kebutuhan air rata-rata yang dikonsumsi setiap orang dalam setiap harinya.
2. Kebutuhan harian maksimum, yaitu kebutuhan air yang terbesar dari kebutuhan rata-rata harian dalam satu minggu. Kebutuhan harian maksimum digunakan untuk menghitung kebutuhan air bersih pada pipa transmisi.
3. Kebutuhan air pada jam puncak, yaitu kebutuhan puncak pada jam-jam tertentu dalam satu hari. Kebutuhan air pada jam puncak digunakan untuk menghitung kebutuhan air bersih pada pipa transmisi.

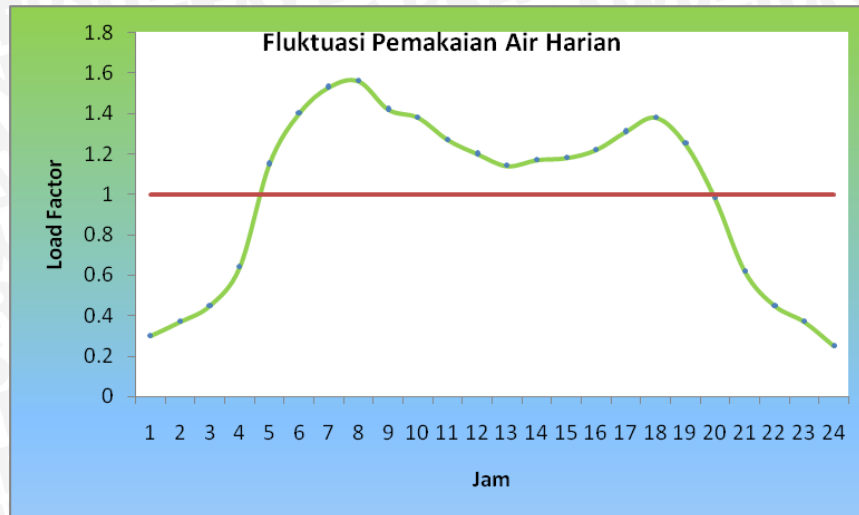
Kebutuhan air harian maksimum dan kebutuhan air pada jam puncak dihitung berdasarkan kebutuhan air harian rata-rata dengan menggunakan pendekatan sebagai berikut :

1. Kebutuhan harian maksimum = $1,15 \times$ kebutuhan air rata-rata
2. Kebutuhan air pada jam Puncak = $1,56 \times$ kebutuhan air rata-rata

Tabel 2.1 Faktor Pengali (*Load Factor*) Terhadap Kebutuhan Harian

Jam	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Load Faktor	0,3	0,37	0,45	0,64	1,15	1,4	1,53	1,56	1,42	1,38	1,27	1,2
Jam	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Load Faktor	1,14	1,17	1,18	1,22	1,31	1,38	1,25	0,98	0,62	0,45	0,37	0,25

Sumber : Anonim, 2007: v-4



Gambar 2.1 Fluktuasi Pemakaian Air Harian

Sumber: Anonim, 2007: v-5

Kebutuhan air sendiri akan dikategorikan menjadi dua yaitu kebutuhan air domestik dan non domestik. Kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air yang digunakan untuk keperluan rumah tangga yaitu untuk keperluan minum, memasak, mandi, cuci pakaian serta keperluan lainnya, sedangkan kebutuhan air non domestik digunakan untuk kegiatan komersil seperti industri, perkantoran, maupun kegiatan sosial seperti sekolah, rumah sakit, tempat ibadah dan niaga.

2.3.2.1 Kebutuhan Domestik

Kebutuhan domestik merupakan kebutuhan air bersih yang digunakan untuk keperluan rumah tangga dan kran/hidran umum, jumlah kebutuhan tersebut ditentukan berdasarkan karakteristik dan perkembangan konsumen pengguna air bersih. Sehingga semakin luas wilayah yang harus dilayani maka akan semakin besar pula kebutuhan air bersih yang digunakan masyarakat. Hal ini dapat dilihat pada besarnya nilai kebutuhan air bersih untuk tingkatan kota yang berbeda.

WHO sendiri pada tahun 2002 telah menetapkan jumlah air bersih yang harus dipenuhi agar dapat mencapai syarat kesehatan adalah 86,4 liter/kapita/hari. Sedang di Indonesia ditentukan sebesar 60 ltr/org/hari. Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum pada tahun 2001 membagi lagi standar kebutuhan air minum tersebut berdasarkan lokasi wilayah. (et-konsultanlingkungan.blogspot.com/2011/20/system-penyediaan-air-minum-spam.html?m=1, diakses tanggal 30 november 2013).

Tabel 2.2 Kebutuhan Air per Jiwa

Kategori	Keterangan Kota	Jumlah Penduduk	Kebutuhan air lt/jiwa/hr
1	Kota Metropolitan	Diatas 1 juta	190
2	Kota Besar	500.000 - 1juta	170
3	Kota Sedang	100.000 - 500.000	150
4	Kota Kecil	20.000-100.000	130
5	Desa	10.000-100.000	100
6	Desa Kecil	3.000-10.000	60

Sumber: kimpraswil, 2003

Berdasarkan pada Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 23 Tahun 2006 tentang Pedoman Teknis dan Tata Cara Pengaturan Tarif Air Minum pada Perusahaan Daerah Air Minum BAB I ketentuan umum Pasal 1 ayat 8 menyatakan bahwa: “Standar Kebutuhan Pokok Air Minum adalah kebutuhan air sebesar 10 meter kubik/kepala keluarga/bulan atau 60 liter/orang/hari, atau sebesar satuan volume lainnya yang ditetapkan lebih lanjut oleh Menteri yang menyelenggarakan urusan pemerintahan di bidang sumber daya air”. Untuk kebutuhan air minum nasional data dari Departemen Pekerjaan Umum menunjukkan, bahwa kebutuhan air nasional sebanyak 272.107 liter per detik, sedangkan kapasitas air minum eksistingnya sebanyak 105.000 liter perdetik.

(www.attbatam.com/metro/index.php/componenet/k2/item/78-standar-kebutuhan-air-bersih-setiap-orang, diakses tanggal 30 november 2013)

2.3.2.2 Kebutuhan Non Domestik

Kebutuhan non domestik merupakan kebutuhan air bersih yang digunakan selain untuk keperluan rumah tangga dan sambungan kran/hidran umum, seperti pemakaian air untuk perkantoran, perdagangan, industri serta fasilitas sosial lainnya seperti tempat ibadah, sekolah, asrama, rumah sakit, militer, serta pelayanan jasa umum lainnya. Besarnya prosentase kebutuhan non domestik terhadap kebutuhan domestik juga harus memperhatikan perkembangan tingkat kebutuhan dari tahun ke tahun.

Dalam studi ini kebutuhan non domestik digunakan angka sesuai dengan Kriteria Sasaran Program Air Bersih dari Direktorat Jenderal Cipta Karya. Untuk Kota Batu khususnya Kecamatan Junrejo sebagai daerah layanan bisa dikategorikan kota kecil.

Tabel 2.3 Klasifikasi dan Struktur Kebutuhan Air

No	Paramater	Metro	Besar	Sedang	Kecil
1	Tingkat Pelayanan (target)	100%	100%	100%	100%
2	Tingkat Pemakaian Air (lt/ orang/ hari)				
	-> Sambungan Rumah (SR)	190	170	150	130
	-> Hidran Umum (Kran Umum)	30	30	30	30
3	Kebutuhan Non Domestik				
	-> Industri (lt/ orang/ hari)				15% s/d 30%
	- Berat	0,5-1,00			(kebutuhan domestik)
	- Sedang	0,25-0,50			
	- Ringan	0,1-0,25			
	-> Komersial (lt/ orang/ hari)				
	- Pasar	400			
	- Hotel (lt/ orang/ hari)	1000			
	- local				
	- Internasional				
	-> Sosial dan Institusi				
	- Universitas (lt/ siswa/ hari)	20			
	- Sekolah (lt/ siswa/ hari)	15			
	- Masjid (m ³ / hari/ unit)	1 s/d 2			
	- Rumah Sakit (lt/ orang/ hari)	400			
	- Puskesmas (m ³ / hari/ unit)	1 s/d 2			
	- Kantor (lt/ orang/ hari)	0,01			
	- Militer (m ³ / hari/ unit)	10			
4	Kebutuhan Harian Rata-Rata	Kebutuhan Domestik + Non Domestik			
5	Kebutuhan Harian Maksimum	Kebutuhan Rata-Rata x 1,15-1,20 (faktor jam maksimum)			
6	Kehilangan Air				
	- Sistem Baru	20% x Kebutuhan Rata-Rata			
	- Sistem Lama	30% x Kebutuhan Rata-Rata			
7	Kebutuhan Jam Puncak	Kebutuhan Rata-Rata x faktor jam puncak (165%-200%)			

Sumber : Direktorat Jenderal Cipta Karya

2.3.2.3 Kehilangan Air

Kehilangan air merupakan perkiraan jumlah kehilangan air pada pipa distribusi dan tidak termasuk dalam kategori pemakaian air, akan tetapi dalam perencanaan besarnya angka kehilangan air harus diperhitungkan. Faktor kehilangan air dibedakan menjadi 2 yaitu :

1. Kehilangan air akibat faktor teknis
 - Adanya lubang atau celah pada pipa sambungan
 - Pipa pada jaringan distribusi pecah
 - Meter yang dipasang pada pipa konsumen kurang baik
 - Kehilangan air pada instalasi pengolahan
 - Pemasangan perpipaan yang kurang baik
2. Kehilangan air akibat faktor non teknis
 - Kesalahan membaca meter air
 - Kesalahan dalam penjumlahan atau pengurangan data
 - Kesalahan pencatatan hasil pembacaan meter air
 - Pencurian air atau pemasangan sambungan liar

Sebagai indikasi kemungkinan terjadinya kehilangan air dapat dilakukan beberapa cara antara lain :

- Dengan membandingkan jumlah air yang diproduksi dengan jumlah pemakaian tercatat
- Dengan membandingkan jumlah pemakaian air pada malam hari dengan jumlah pemakaian air dalam satu hari.

Faktor kehilangan air dalam pekerjaan ini mengacu pada Kriteria Sasaran Program Air Bersih, Direktorat Jenderal Cipta Karya. Mengingat jauhnya jarak penyaluran air dari sumber pengambilan ke daerah layanan, dan belum adanya fasilitas jalan yang baik maka dalam pekerjaan ini diasumsikan angka kehilangan air sebesar 35% dari kapasitas total.

2.4 Analisa Neraca Air

Analisa neraca air atau keseimbangan air dimaksudkan untuk mengevaluasi kondisi ketersediaan air dan pemanfaatannya sehingga dapat diketahui dimana saat terjadi kekurangan air (defisit) atau kelebihan air (surplus). Kemudian diharapkan dari analisis keseimbangan ini dapat diketahui rencana dan program pembangunan proyek-proyek yang dapat diprioritaskan untuk mendukung pengadaan air bersih di lokasi kajian.

Neraca berupa selisih antara ketersediaan dan kebutuhan air total dari sektor yang ada, sehingga dapat dilihat secara mudah perkiraan terjadinya surplus dan defisit air pada saat yang sama di wilayah perencanaan. Seluruh perhitungan ini diasumsi secara ideal, yaitu bahwa pemakaian air untuk seluruh sektor hanya memanfaatkan air dari sumber air permukaan dan hanya mendapatkan pelayanan air dari sistem yang direncanakan ini

2.5 Analisa Hidrolika

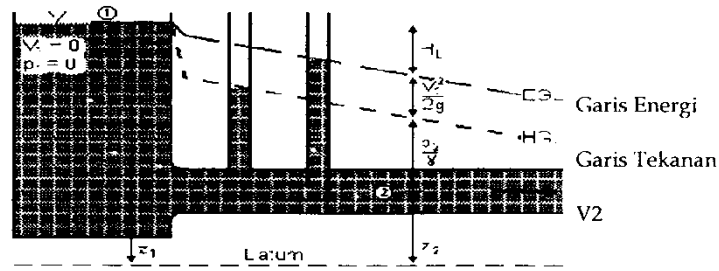
Dalam melakukan analisis hidrolika pada sistem jaringan distribusi air bersih melalui saluran tertutup (pipa) haruslah memenuhi kaidah-kaidah sebagai berikut :

2.5.1 Hukum Bernoulli

Prinsip Bernoulli mengatakan bahwa tinggi energi total pada sebuah penampang pipa adalah sama dengan jumlah energi kecepatan, energi tekanan dan energi ketinggian, yang dapat dituliskan sebagai berikut (Anonim, 2007: III-9) :

$$\begin{aligned}
 E_{\text{TOT}} &= \text{Energi ketinggian} + \text{Energi Kecepatan} + \text{Energi tekanan} \\
 &= h + \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma_w} \qquad (2-8)
 \end{aligned}$$

Menurut teori hukum kekekalan energi dari Bernoulli menyatakan bahwa apabila tidak ada energi yang lolos atau diterima antara dua titik dalam satu sistem tertutup maka energi totalnya tetap konstan. Hal ini dapat diilustrasikan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.2 Diagram Energi
 Sumber: Anonim, 2007: III-9

Hukum kekekalan Bernoulli pada gambar diatas dapat dituliskan sebagai berikut (Anonim, 2007: III-10) :

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

Dimana :

- $\frac{P_1}{\gamma_w}, \frac{P_2}{\gamma_w}$ = tinggi tekan di titik 1 dan 2 (m)
- $\frac{v_1^2}{2g}, \frac{v_2^2}{2g}$ = tinggi energy di titik 1 dan 2 (m)
- P_1, P_2 = tekanan di titik 1 dan 2
- γ_w = berat jenis air (kg/m^3)
- V_1, V_2 = kecepatan aliran di titik 1 dan 2 dari garis yang ditinjau (m)
- h_L = kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m)

2.5.2 Hukum Kontinuitas

Air yang mengalir sepanjang pipa yang mempunyai luas penampang $A \text{ m}^2$ dan kecepatan $V \text{ m/det}$ selalu memiliki debit yang sama pada setiap penampangnya. Hal tersebut dikenal sebagai hukum kontinuitas dan dituliskan sebagai (Triatmodjo, 1996: 137):

$$Q_1 = Q_2 \quad (2-10)$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \quad (2-11)$$

Dimana :

Q_1 = debit pada potongan 1 (m^3/det)

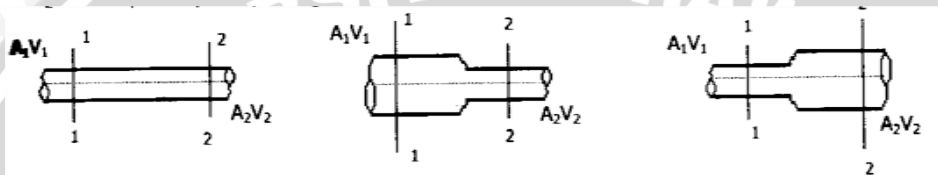
Q_2 = debit pada potongan 2 (m^3/det)

A_1 = luas penampang pada potongan 1 (m^2)

A_2 = luas penampang pada potongan 2 (m^2)

V_1 = kecepatan pada potongan 1 (m/det)

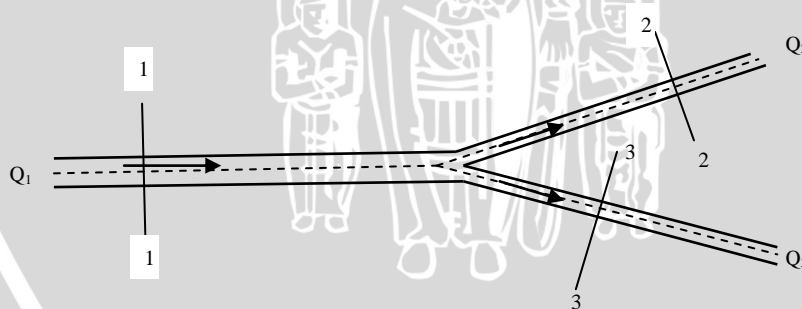
V_2 = kecepatan pada potongan 2 (m/det)



Gambar 2.3 Aliran Dalam Pipa

Sumber: Anonim, 2007: III-11

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



Gambar 2.4 Aliran Bercabang

Sumber: Triatmodjo, 1996: 137

Dimana (Triatmodjo, 1996: 137):

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

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

Dengan :

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)

2.5.3 Kehilangan Tinggi Tekan (*Head Loss*)

Kehilangan tinggi tekan dalam pipa dapat dibedakan menjadi dua yaitu kehilangan tinggi tekan mayor (*major losses*) dan kehilangan tinggi tekan minor (*minor losses*). Dalam merencanakan sistem jaringan distribusi air bersih aliran dalam pipa harus berada pada kondisi aliran turbulen. Untuk mengetahui kondisi aliran dalam pipa turbulen atau tidak, dapat dihitung dengan identifikasi bilangan *Reynold* menggunakan persamaan sebagai berikut (Triatmodjo, 2010: 47):

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (2-14)$$

Dimana :

Re = bilangan *Reynold*

v = kecepatan aliran dalam pipa (m/det)

D = diameter pipa (m)

ν = kekentalan kinematik air pada suhu tertentu (m^2/det)

Tabel 2.4 Nilai Kekentalan Kinematik Air pada Suhu Tertentu

Suhu ($^{\circ}C$)	Kekentalan Kinematik (m^2/det)	Suhu ($^{\circ}C$)	Kekentalan Kinematik (m^2/det)
0	$1.785 \cdot 10^{-6}$	40	$0.658 \cdot 10^{-6}$
5	$1.519 \cdot 10^{-6}$	50	$0.553 \cdot 10^{-6}$
10	$1.306 \cdot 10^{-6}$	60	$0.474 \cdot 10^{-6}$
15	$1.139 \cdot 10^{-6}$	70	$0.413 \cdot 10^{-6}$
20	$1.003 \cdot 10^{-6}$	80	$0.364 \cdot 10^{-6}$
25	$0.893 \cdot 10^{-6}$	90	$0.326 \cdot 10^{-6}$
30	$0.800 \cdot 10^{-6}$	100	$0.294 \cdot 10^{-6}$

Sumber : <http://web.ipb.ac.id/~erizal/mekflud/modul1.pdf>

Dari perhitungan bilangan *Reynold*, maka sifat aliran di dalam pipa dapat diketahui dengan Kriteria sebagai berikut :

- $Re < 2000$ → aliran bersifat laminar
- $2000 < Re < 4000$ → aliran bersifat transisi
- $Re > 4000$ → aliran bersifat turbulen

2.5.3.1 Kehilangan Tinggi Tekan Mayor (*Major Losses*)

Fluida yang mengalir di dalam pipa akan mengalami tegangan geser dan gradien kecepatan pada seluruh medan karena adanya kekentalan kinematik. Tegangan geser tersebut akan menyebabkan terjadinya kehilangan energi selama pengaliran. Tegangan geser yang terjadi pada dinding pipa merupakan penyebab utama menurunnya garis energi pada suatu aliran (*major losses*) selain bergantung juga pada jenis pipa.

Untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi tekan mayor ini bisa digunakan formula Hazen-Williams berikut (Priyantoro, 1991: 20) :

$$Q = 0,85 \cdot C_{hw} \cdot A \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (2-15)$$

$$v = 1,318 \cdot C_{hw} \cdot R^{0,63} \cdot S^{0,54} \quad (2-16)$$

dimana :

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

v = kecepatan pada pipa (m/det)

0,85 = konstanta

C_{hw} = koefisien kekasaran Hazen-Williams

A = luas penampang aliran (m^2)

R = jari-jari hidrolis (m^2)

$$= \frac{A}{P} = \frac{\frac{1}{4} \pi D^2}{\pi D} \quad (2-17)$$

$$R = \frac{D}{4}$$

S = kemiringan garis energi (m/m) = $\frac{hf}{L}$ (2-18)

Untuk $Q = v/A$, didapat persamaan kehilangan tinggi tekan mayor menurut Hazen-Williams sebesar (Webber, 1978 :120) :

$$hf = r \cdot Q^m \tag{2-19}$$

$$hf = r \cdot Q^{1,85} \tag{2-20}$$

dimana :

$$r = \frac{10,67 L}{C_{hw}^{1,85} D^{4,87}} \tag{2-21}$$

dengan :

hf = kehilangan tinggi tekan mayor (m)

m = nilai eksponensial

r = koefisien karakteristik pipa

Q = debit aliran pada pipa (m³/det)

D = diameter pipa (m)

L = panjang pipa (m)

C_{hw} = koefisien kekasaran Hazen-Williams

Tabel 2.5 Koefisien Kekasaran Menurut Hazen-Williams

No	Jenis Pipa	Nilai Koefisien Hazen-Williams (C _{hw})
1	PVC	140-150
2	Pipa Asbes	120-150
3	Batu berlapis semen	100-140
4	Pipa besi digalvanis	100-120
5	Cast Iron	90-125

Sumber : http://isjd.pdii.lipi.go.id/admin/jurnal/10120092534_0216-4582.pdf

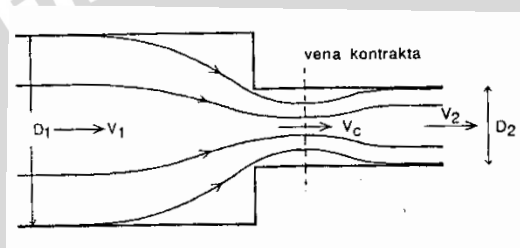


2.5.3.2 Kehilangan Tinggi Tekan Minor (*Minor Losses*)

Faktor lain yang juga ikut menambah besarnya kehilangan tinggi tekan pada suatu aliran adalah kehilangan tinggi tekan minor. Kehilangan tinggi tekan minor ini disebabkan oleh adanya perubahan mendadak ataupun berangsur-angsur dari ukuran penampang pipa yang menyebabkan turbulensi, belokan-belokan, adanya katub dan berbagai jenis sambungan. Besaran nilai koefisien k sangat beragam, tergantung dari bentuk fisik penyempitan, pelebaran, belokan, katub dan sambungan dari pipa.

- Kehilangan Tinggi akibat Pengecilan Tiba-Tiba

Persamaan umum untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi tekan minor dikarenakan pengecilan tiba-tiba dapat ditulis dengan persamaan berikut (Priyantoro, 1991: 27):



Gambar 2.5 Pengecilan Pipa
Sumber: Triatmodjo, 2010: 61

$$h_{Lm} = K \frac{v^2}{2g} \quad (2-22)$$

Dimana :

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

K = koefisien kontraksi

v = kecepatan rata-rata dalam pipa (m/det)

g = percepatan gravitasi (m/det²)

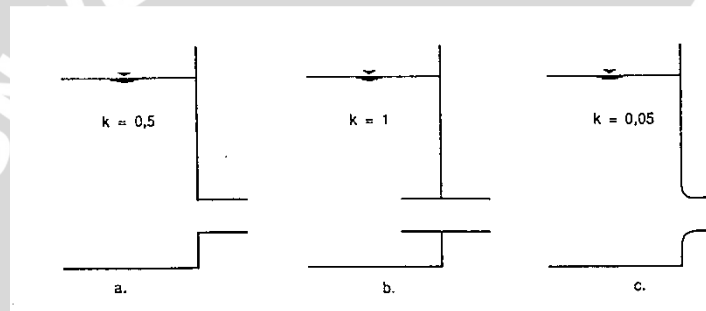
dalam hal ini nilai K_c bervariasi menurut D_2 / D_1 dimana dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 2.6 Nilai Koefisien Kontraksi K Akibat Pengecilan Tiba-Tiba

Velocity in Smaller Pipe V(m/s)	Ratio of Smaller to Larger Pipe Diameters, D_2 / D_1									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1	0.49	0.49	0.48	0.45	0.42	0.38	0.28	0.18	0.07	0.03
2	0.48	0.48	0.47	0.44	0.41	0.37	0.28	0.18	0.09	0.04
3	0.47	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36	0.28	0.18	0.10	0.04
6	0.44	0.43	0.42	0.40	0.37	0.33	0.27	0.19	0.11	0.05
12	0.38	0.36	0.35	0.33	0.31	0.29	0.25	0.20	0.13	0.06

Sumber: Priyantoro, 1991: 27

Rumus diatas juga berlaku pada saat perubahan penampang yaitu saat air dari tandon memasuki pipa dan besarnya nilai koefisien k bisa dilihat pada gambar berikut:

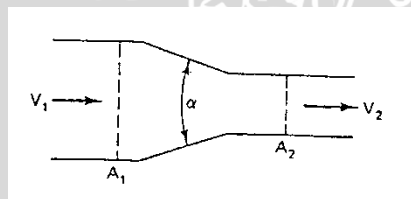


Gambar 2.6 Macam Lubang Pemasukan dari Kolam

Sumber: Triatmodjo, 2010: 62

- Kehilangan Tinggi akibat Pengecilan Berangsur-Angsur

Dalam hali ini perubahan antar pipa dihubungkan oleh sebuah pipa transisi seperti halnya pipa *confuser*. Sehingga persamaan kehilangan tinggi pada saat tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut (Priyantoro, 1991: 28):



Gambar 2.7 Pengecilan Pipa Secara Berangsur-Angsur

Sumber: Triatmodjo, 2010: 63

$$h_{Lm} = \frac{K}{2g} (v_1^2 - v_2^2) \quad (2-23)$$

Nilai K untuk pengecilan diatas yang berdasarkan sudut adalah:

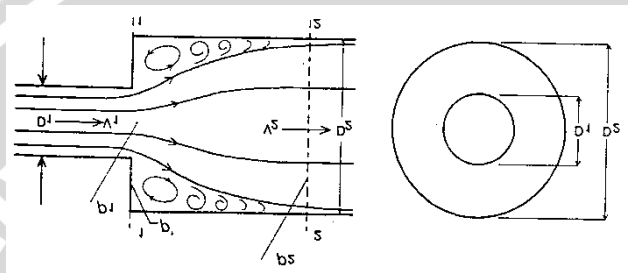
Tabel 2.7 Nilai Koefisien Kontraksi K Berdasarkan Sudut Pengecilan

α	10^0	20^0	30^0	40^0
K	0,20	0,28	0,32	0,35

Sumber: Priyantoro, 1991: 28

- Kehilangan Tinggi akibat Pembesaran Tiba-Tiba

Dalam kasus ini terjadi perubahan pada diameter pipa dari diameter lebih kecil menjadi lebih besar secara langsung. Perhitungan kehilangan tingginya dapat dituliskan sebagai berikut (Priyantoro, 1991: 29):



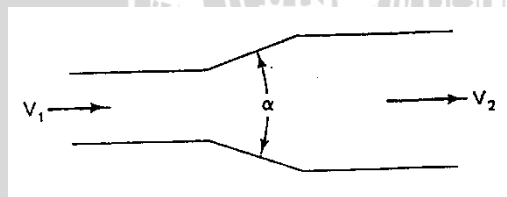
Gambar 2.8 Pembesaran Pipa

Sumber: Triatmodjo, 2010: 59

$$h_{Lm} = k \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g} \quad (2-24)$$

- Kehilangan Tinggi Akibat Pembesaran Berangsur-Angsur

Perubahan dalam pipa ini dihubungkan dengan bagian transmisi seperti halnya pipa *confusor*. Persamaan yang dipakai adalah (Priyantoro, 1991: 30):



Gambar 2.9 Perbesaran Pipa Secara Berangsur-Angsur

Sumber: Triatmodjo, 2010: 61

$$h_{Lm} = K \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g} \quad (2-25)$$

Nilai K untuk pengecilan diatas yang berdasarkan sudut adalah:

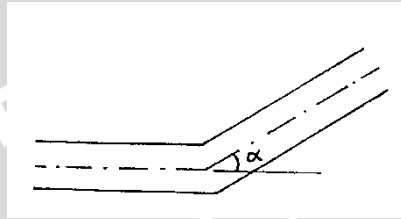
Tabel 2.8 Nilai Koefisien Kontraksi K Berdasarkan Sudut Pembesaran

α	10^0	20^0	30^0	40^0
K	0,39	0,80	1,00	1,06

Sumber: Priyantoro, 1991: 30

- Kehilangan Tinggi Akibat Belokan

Kehilangan tinggi pada belokan tergantung pada sudut belokan pipa. Rumus kehilangan tinggi yang dipakai dalam belokan adalah serupa dengan rumus pada perubahan penampang (Priyantoro, 1991: 27)



Gambar 2.10 Belokan pada Pipa
Sumber: Triatmodjo, 2010: 64

$$h_{Lm} = K \frac{v^2}{2g} \quad (2-26)$$

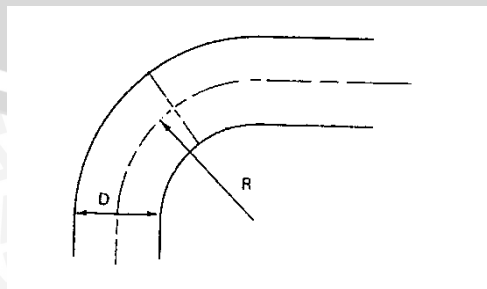
Sehingga nilai k pada rumus diatas bergantung pada besaran sudut yang dipakai

Tabel 2.9 Koefisien K sebagai Fungsi Sudut Belokan

α	20^0	40^0	60^0	80^0	90^0
K	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98

Sumber: Triatmodjo, 2010: 64

untuk sudut belokan 90^0 dan dengan belokan halus (berangsur-angsur), kehilangan tenaga bergantung pada perbandingan antara jari-jari belokan dan diameter pipa. Nilai K untuk berbagai nilai R/D adalah:



Gambar 2.11 Belokan pada Pipa dengan Sudut 90^0

Sumber: Triatmodjo, 2010: 64

Tabel 2.10 Koefisien K sebagai Fungsi R/D

R/D	1	2	4	6	10	16	20
K	0,35	0,19	0,17	0,22	0,32	0,38	0,42

Sumber: Triatmodjo, 2010: 64

Tabel 2.11 Koefisien Kekasaran Pipa Menurut Jenis Perubahan Bentuk Pipa

Jenis Perubahan Bentuk Pipa	K	Jenis Perubahan Bentuk Pipa	K
Awal masuk pipa		Belokan halus 90 ⁰	
<i>bell mouth</i>	0.03-0.05	Radius belokan/D = 4	0.16-0.28
<i>Rounded</i>	0.12-0.25	Radius belokan/D = 2	0.19-0.25
<i>shard edge</i>	0.5	Radius belokan/D = 1	0.35-0.40
<i>Projecting</i>	0.8	Belokan tiba-tiba	
Pengecilan mendadak		(mitered)	
D ₂ /D ₁ = 0.80	0.18	θ = 15 ⁰	0.05
D ₂ /D ₁ = 0.50	0.37	θ = 30 ⁰	0.1
D ₂ /D ₁ = 0.20	0.49	θ = 45 ⁰	0.2
Pengecilan mengerucut		θ = 60 ⁰	0.35
D ₂ /D ₁ = 0.80	0.05	θ = 90 ⁰	0.8
D ₂ /D ₁ = 0.50	0.07	Keluaran	1
D ₂ /D ₁ = 0.20	0.08	T (Tee)	
Pembesaran mendadak		Aliran searah	0.3-0.4
D ₂ /D ₁ = 0.80	0.16	Aliran bercabang	0.75-1.8
D ₂ /D ₁ = 0.50	0.57	Persilangan	
D ₂ /D ₁ = 0.20	0.92	Aliran searah	0.5
Pembesaran mengerucut		Aliran bercabang	0.75
D ₂ /D ₁ = 0.80	0.03	45 ⁰ Wye	
D ₂ /D ₁ = 0.50	0.08	Aliran searah	0.3
D ₂ /D ₁ = 0.20	0.13	Aliran bercabang	0.5

Sumber : Haestad, 2001 : 292

2.6 Elemen-Elemen pada Sistem Distribusi Air Bersih

Elemen-elemen pada suatu sistem jaringan distribusi air bersih adalah komponen-komponen yang ada dalam suatu rangkaian sistem jaringan distribusi air bersih. Elemen-elemen ini terdiri dari pipa dan sambungannya, katub, pompa, tandon dan kran (fasilitas pemanfaatan air) dimana kesemuanya haruslah bekerja dengan baik jika salah satu dari elemen tersebut tidak berfungsi, maka dampaknya adalah berkurangnya aliran bahkan terhentinya kinerja dan efisiensi dari sistem tersebut

2.6.1 Pipa

- **Jenis Pipa**

Pada suatu sistem jaringan distribusi air bersih, pipa merupakan komponen yang utama. Pipa ini berfungsi sebagai sarana untuk mengalirkan air ke sumber air ke tandon, maupun dari tandon ke konsumen. Pipa memiliki bentuk penampang lingkaran dengan diameter tertentu. Dalam pelayanan penyediaan air baku lebih banyak digunakan pipa bertekanan karena lebih sedikit kemungkinan tercemar dan biayanya lebih murah disbanding dengan saluran terbuka. Suatu pipa bertekanan adalah pipa yang dialiri air dalam keadaan penuh. Pipa yang umumnya dipakai untuk sistem jaringan distribusi air adalah :

- a. Besi tuang (*cast iron*)
- b. Pipa ini biasanya dicelupkan dalam larutan kimia untuk perlindungan terhadap karat. Panjang pipa biasanya 4 sampai 6 m. tekanan maksimum pipa sebesar 25 kg/cm^2 dan umur pipa mencapai 100 tahun.
- c. Besi galvanis (*galvanized iron*)
Pipa jenis ini bahannya terbuat dari pipa baja yang dilapisi seng. Umur pipa pendek yaitu antara 7 – 10 tahun. Pipa jenis ini sering digunakan untuk jaringan pelayanan yang kecil.
- d. Plastik (PVC)
Pipa ini lebih dikenal dengan sebutan pipa PVC (*Poly Vinyl Chloride*) dan di pasaran mudah untuk didapat dengan berbagai ukuran. Panjang pipa 4 – 6 m dengan ukuran diameter mulai dari 16 mm sampai 350 mm.
- e. Baja
Pipa ini terbuat dari baja lunak dan mempunyai banyak ragam di pasaran. Ukurannya bisa sampai bediameter lebih dari 6 m dan berumur 40 tahun.
- f. HDPE (*High Density Poly Etilin*)
Pipa ini bersifat elastis dan cocok dipasang untuk daerah yang bergelombang

- **Acesoris Pipa**

Pipa yang digunakan dalam system distribusi air baku harus dilengkapi dengan peralatan bantuan agar bisa berfungsi secara baik :

a. Sambungan antar pipa

Untuk menggabungkan antara pipa satu dengan yang lain diperlukan suatu sambungan pipa. Sambungan pada pipa antara lain :

- Mangkok (*bell*) dan lurus (*spigot*)
- Sambungan mekanik
- Sambungan dorong (*push on joint*)
- Sambungan *flens*

◆ Belokan (*Bend*)

Digunakan untuk mengubah arah dari lurus dengan sudut perubahan standar yaitu sebesar $11\frac{1}{4}^{\circ}$, $22\frac{1}{2}^{\circ}$, 45° , 90° .

◆ Perlengkapan “T”

Untuk pipa sekunder dipasang tegak lurus 90° pada pipa primer berbentuk T, pada ujung-ujungnya perlengkapan terdiri dari kombinasi *spigot*, *socket* dan *flens*.

◆ Perlengkapan “Y”

Untuk pipa sekunder yang dipasang pada pipa primer dengan sudut 45°

b. Pintu dan Katub

Aliran yang baik dalam pipa sangat ditunjang dengan katup yang bekerja. Beberapa jenis katup yang mempunyai fungsi tersendiri adalah :

◆ Flow Control Valve (FCV)

Digunakan untuk membatasi aliran maksimum rata-rata yang memlalui katup dan dimaksud untuk melindungi suatu komponen tertentu.

◆ Pressure Reducer Valve (PRV)

Digunakan untuk menanggulangi tekanan yang terlalu besar di hilir katup. Jika tekanan naik melebihi batas maka katup PRV akan tertutup.

◆ Pressure Sustaining Valve (PSV)

Digunakan untuk menanggulangi penurunan tekanan secara drastis di hulu

◆ Pressure Breaker Valve (PBV)

Digunakan untuk memberikan tekanan tambahan pada tekanan yang menurun di katup, selain itu katup ini juga dapat meberikan tekanan tambahan pada aliran yang berbalik arah

◆ Thorttle Control Valve (TCV)

Katup ini digunakan untuk mengontrol *minor losses* yang berubah setiap waktu.

2.6.2 Pompa

Pompa adalah komponen system yang mampu memberikan tambahan tekanan dalam suatu sistem jaringan distribusi air bersih. Dengan pompa, maka tinggi tekanan yang berkurang dapat dinaikkan kembali sehingga sistem dapat mengalirkan air lagi. Dan juga berfungsi untuk mengalirkan air ke tempat pelayan yang lebih tinggi dan jauh. Atau apabila sebelum ada pompa sudah ada aliran, maka pompa juga dapat berfungsi sebagai penambah kapasitas debitnya.

Karakteristik pompa ditunjukkan oleh debit yang dapat dihasilkan pada berbagai variasi tinggi tekan. Semakin tinggi tekan yang ditambah, semakin kecil pula debit yang dihasilkan demikian pula sebaliknya. Operasional pompa juga menggunakan prinsip tersebut, dimana harus diperhatikan tinggi tekan dan debit sehingga operasional pompa dapat mencapai tingkat efisiensi yang tinggi.

2.6.3 Tandon/Reservoir

Tandon merupakan komponen dari sistem jaringan distribusi air bersih dimana berfungsi untuk menampung air sementara yang akan disalurkan ke konsumen. Pengisian tampungan tandon ketika kebutuhan air tidak mencapai puncak atau dibagi antara keduanya apabila kapasitas debitnya mencukupi. Yang perlu diperhatikan dalam perencanaan tandon adalah aspek kuantitas, kontinuitas dan kualitas air yang akan ditampung dan disalurkan.

2.7 Mekanisme Pengaliran dalam Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih

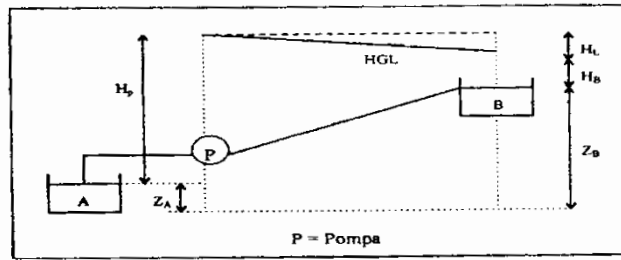
2.7.1 Jenis Pengaliran

2.7.1.1 Pipa dengan Menggunakan Gravitasi

Dalam hal ini dalam mekanisme pendistribusian air bersih dan pemasangan pipa menggunakan prinsip gravitasi berdasarkan kondisi topografi daerah layanan. Dalam pemasangan ini tidak diperlukan pompa dikarenakan air mengalir berdasarkan prinsip gravitasi.

2.7.1.2 Pipa dengan Bantuan Pompa

Pemakaian pompa dimaksudkan untuk lebih memperbesar tekanan pada suatu titik agar dapat melayani area yang lebih luas atau area yang mempunyai kondisi topografi lebih tinggi dari bagian hulu.



Gambar 2.12 Skema Jaringan Distribusi Air Bersih Dengan Pompa
 Sumber : Triatmodjo, 2010: 73

Dari gambar diatas, maka tinggi garis gradien di titik B adalah (Anonim, 2007: III-19) :

$$H_B = Z_A + H_p - Z_B + H_L \quad (2-27)$$

Dengan :

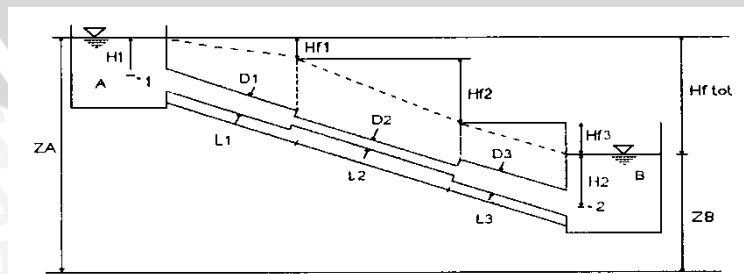
- H_B = tekanan di titik B
- Z_A = tinggi elevasi titik A (m)
- Z_B = tinggi elevasi titik B (m)
- H_p = tinggi tekan pompa (m)
- H_L = kehilangan tinggi tekan (m)

2.7.2 Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan dalam jaringan distribusi air bersih dapat dibagi mejadi dua yaitu pipa dengan hubungan seri dan paralel. Penggunaan sistem ini berdasarkan pada kondisi lapangan dan melihat tingkat kebutuhan airnya.

2.7.2.1 Pipa Hubungan Seri

Apabila suatu saluran pipa terdiri dari beberapa pipa yang berdiameter sama atau berbeda dalam kondisi terseambung, maka kondisi tersebut dapat disebut pipa hubungan seri. Pada sambungan seri semu debit pada setiap titik sama sedangkan kehilangan tekanan di semua titik berbeda.



Gambar 2.13 Pipa dalam Hubungan Seri
 Sumber : Triatmodjo, 2010: 74

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (2-28)$$

Dengan (Triatmodjo, 2010: 74):

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \text{debit pada tiap pipa (m}^3/\text{det)}$$

Sedangkan,

$$hf_{\text{tot}} = hf_1 + hf_2 + hf_3 \quad (2-29)$$

$$= \sum_{i=1}^n hf$$

Dengan :

hf_{tot} = total kehilangan tekanan pada pipa terpasang seri (m)

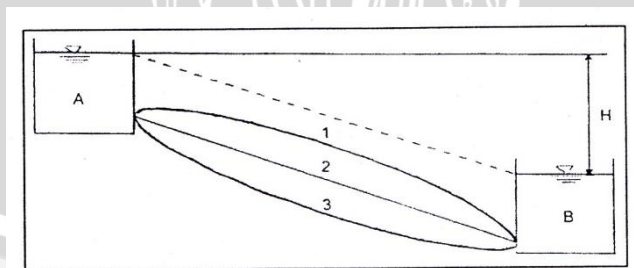
$hf_1 = hf_2 = hf_3$ = kehilangan tekanan pada tiap pipa (m)

sehingga persamaan *Bernoulli* menjadi

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma_w} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma_w} + \frac{v_2^2}{2g} + hf_{\text{tot}} \quad (2-30)$$

2.7.2.2 Pipa Hubungan Paralel

Apabila dua atau lebih pipa yang letaknya sejajar dan terhubung oleh suatu simpul (*junction*), maka pipa tersebut dapat disebut terhubung secara paralel. Pada pipa paralel, debit total merupakan hasil penjumlahan dari debit yang mengalir pada tiap pipa, sedangkan kehilangan tekanan pada tiap pipa sama.



Gambar 2.14 Pipa dalam Hubungan Paralel

Sumber : Triatmodjo, 2010: 79

$$hf_1 = hf_2 = hf_3 \quad (2-31)$$

dengan (Triatmodjo, 2010: 79) :

$hf_1 = hf_2 = hf_3 =$ kehilangan tekanan pada tiap pipa (m)

sedangkan,

$$Q_{\text{tot}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2-32)$$

$$= \sum_{i=1}^n Q$$

Dengan :

Q_{tot} = total debit pada pipa terpasang paralel (m^3/det)

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

2.7.3 Metode Perhitungan Aliran dalam Pipa

Pada jaringan pipa ada dua persamaan yang harus dipenuhi yaitu persamaan kontinuitas masaana dan persamaan energy. Kedua persamaan tersebut berlaku untuk semua pipa dalam sistem jaringan distribusi air bersih. Untuk menyelesaikan perhitungananalisis sistem jaringan pipa, didasarkan pada dua kondisi dasar yang harus dipenuhi yaitu (Webber, 1971) :

1. Hukum kontinuitas, yaitu dalam tiap-tiap titik simpul aliran yang masuk harus sama dengan yang keluar (Triatmodjo, 1996 : 92)

$$\sum Q_i = 0$$

Dimana Q_i = debit yang masuk atau keluar dari titik simpul

2. Untuk kontinuitas tekanan, jumlah kehilangan tekanan di dalam sistem jaringan tertutup harus sam dengan nol

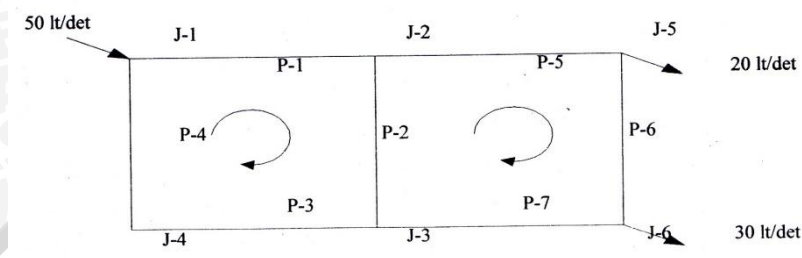
$$\sum hf = 0$$

Untuk menggunakan kedua persamaan diatas, hardi Cross (1936) menawarkan dua metode yaitu jaringan tertutup (*loop method*) dan metode titik simpul (*junction method*).

2.7.3.1 Metode Jaringan Tertutup (*Loop Method*)

Dalam metode jaringan tertutup ini digunakan prinsip keseimbangan tinggi tekan dengan menganggap bahwa aliran masuk dan keluar dari jaringan harus diketahui untuk menentukan aliran dalam setiap komponen pipa. Jika tekanan pada sistem juga diperlukan

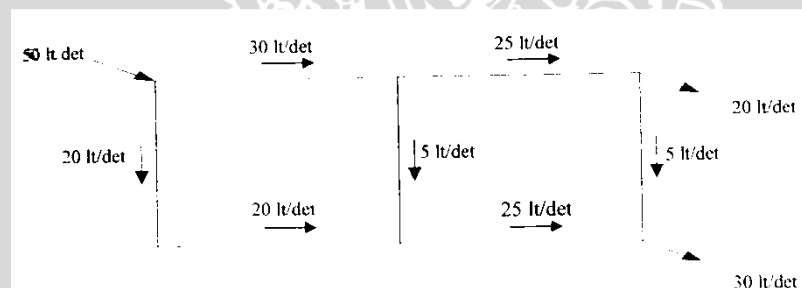
maka tinggi tekan pada satu titik dalam jaringan harus diketahui awalnya. Gambar di bawah menunjukkan suatu sistem dimana bila semua persyaratan satandar telah terpenuhi, maka kehilangan tinggi tekan dalam pipa 1 dan 2 sama dengan kehilangan tinggi tekan di pipa 3 dan 4 sehingga dikatakan jaringan tersebut telah seimbang. Dengan perumpamaan arah jarum jam, kehilangan tinggi tekan dikatakan positif bila searah jarum jam.



Gambar 2.15 Skema Jaringan dengan Metode Jaringan Tertutup

Sumber: Anonim, 2007: III-22

Konsep yang dikemukakan oleh Hardy Cross adalah menggunakan prinsip kontinuitas, bahwa debit yang masuk sama dengan debit yang keluar

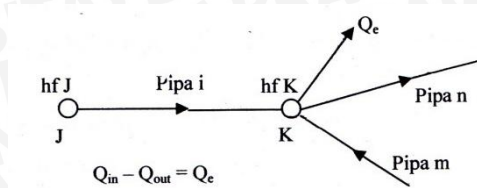


Gambar 2.16 Ilustrasi Persamaan Kontinuitas dengan Metode Jaringan tertutup

Sumber: Anonim, 2007: III-23

2.7.3.2 Metode Titik Simpul (*Junction Method*)

Dalam metode titik simpul digunakan prinsip keseimbangan debit (*quantity balance*) yaitu dengan lebih mempertimbangkan besarnya debit aliran pada suatu titik simpul sebagai variabel yang tidak diketahui daripada mempertimbangkan besarnya debit aliran pada pipa yang dipakai dalam metode jaringan tertutup. Langkah modifikasi dari R.J Cornish ini dapat digunakan bila tinggi tekan pada tiap titik masuk (*junction*) diketahui dan digunakan untuk menentukan tinggi tekan dan aliran di sepanjang jaringan.



Gambar 2.17 Skema Jaringan dengan Metode Titik Simpul

Sumber: Anonim, 2007: III-23

2.7.4 Simulasi Aliran pada Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih

Dalam perencanaan skema jaringan distribusi air bersih terdapat dua kondisi pada saat pengaliran yaitu kondisi permanen dan kondisi tidak permanen. Penentuan jenis kondisi aliran amat tergantung pada pola konsumsi air pada masyarakat untuk setiap jam dalam perhariannya.

2.7.4.1 Analisa Kondisi Permanen

Analisa kondisi permanen ini mencakup kondisi aliran, tekanan, dan kapasitas dari komponen sistem jaringan tersebut pada corak permintaan tunggal. Simulasi ini dilakukan pada kondisi kritis seperti pada kebutuhan harian maksimum, kebutuhan puncak dan kondisi pengisian tampungan tandon. Dengan demikian dapat memberikan suatu informasi dari kondisi jaringan pada suatu waktu yang diinginkan.

2.7.4.2 Analisa Kondisi tidak Permanen

Analisa kondisi permanen ini mencakup kondisi aliran, tekanan, dan kapasitas dari komponen sistem jaringan tersebut pada corak permintaan yang berubah-ubah. Dalam simulasi kondisi tidak permanen ini beberapa parameter yang digunakan adalah karakteristik tandon, kontrol operasi pompa, durasi dan nilai tahapan waktu, rasio waktu serta faktor beban (*load factor*)

2.7.4.3 Analisa Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih dengan Software Komputer

Analisa sistem jaringan distribusi merupakan lanjutan dari perencanaan sistem jaringan distribusi jaringan air bersih setelah diketahui potensial pertumbuhan penduduk, kebutuhan air bersih total dan ketersediaan air bersih. Dalam pembuatan sistem distribusi jaringan air bersih ini dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan perhitungan manual atau dengan bantuan *software* komputer. Dikarenakan perhitungan yang banyak, rumit dan

membutuhkan *trial and error*, maka analisa perencanaan yang menggunakan bantuan *software* komputer dapat menjadi alternatif perencanaan.

Pada saat ini program-program komputer di bidang perencanaan sistem jaringan distribusi air bersih sudah banyak dan berkembang pesat sehingga kesulitan dalam perencanaan dapat diatasi dengan menggunakan program tersebut. Proses *trial and error* dapat dilakukan dalam waktu yang singkat dengan tingkat kesalahan yang kecil.

Beberapa program komputer yang ada di bidang perencanaan sistem jaringan distribusi air bersih diantaranya adalah *Loops*, *Wadiso*, *Epanet 1.1*, *Epanet 2.0*, *WaterCAD* dan *WaterNET*. Dan didalam studi ini akan digunakan program *WaterCAD V8 XM Edition* dikarenakan program ini terbilang baru dan mempunyai ketelitian yang lebih tinggi daripada versi sebelumnya.

2.7.4.4 Pembuatan Skema dan Pemodelan Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih dengan program *WaterCAD V8 XM Edition*.

Program *WaterCAD V8 XM Edition* ini merupakan produk dari Bentley yang mampu menganalisa skema sistem jaringan distribusi air bersih yang lebih dari 250 sambungan pipa. Program ini bekerja pada system *windows 95, 98, 2000* dan *windows NT 4.0*. adapun yang ditawarkan pada program ini adalah:

- Menganalisa sistem jaringan distribusi air bersih pada suatu kondisi waktu (kondisi permanen)
- Menganalisa tahapan-tahapan atau periode simulasi pada sistem jaringan terhadap kebutuhan air yang berfluktuasi menurut waktu (kondisi tidak permanen)
- Menganalisa skenario atau alternatif jaringan pada kondisi yang berlainan pada satu file kerja
- Menganalisa kondisi jaringan pada saat kondisi ekstrem untuk keperluan pemadam kebakaran atau hidran
- Mengalisis kualitas air pada sistem jaringan distribusi air bersih
- Menghitung biaya kontruksi pada sistem yang direncanakan

Adapun kelebihan dari program *WaterCAD V8 XM Edition* adalah:

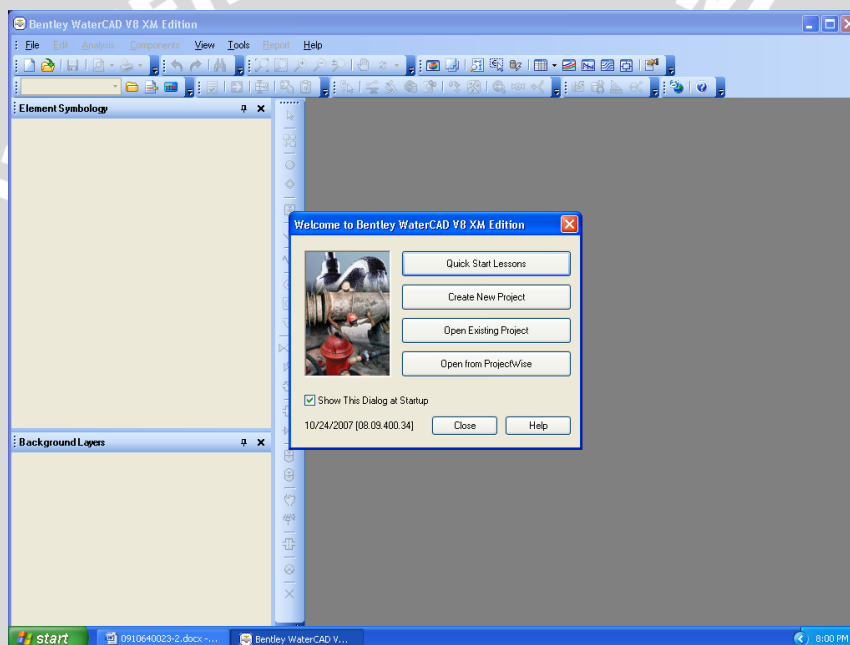
- Mendukung *GIS database connection* (sistem informasi geografis) dari program *ArcVIEW, Arcinfo, ArcCAD, mapifo* dan *AutoCAD*. Yang mana memudahkan

untuk penggabungan model hidrolis *WaterCAD* dengan database utama program tersebut

- Mendukung program *Microsoft office*, *Microsoft excel* dan *Microsoft access*, untuk sharing data pada *WaterCAD*
- Mendukung program *Epanet* versi *windows* dan *kypipe* sehingga dapat mengubah file jaringan pipa program tersebut kedalam bentuk file *WaterCAD(.wtg)*

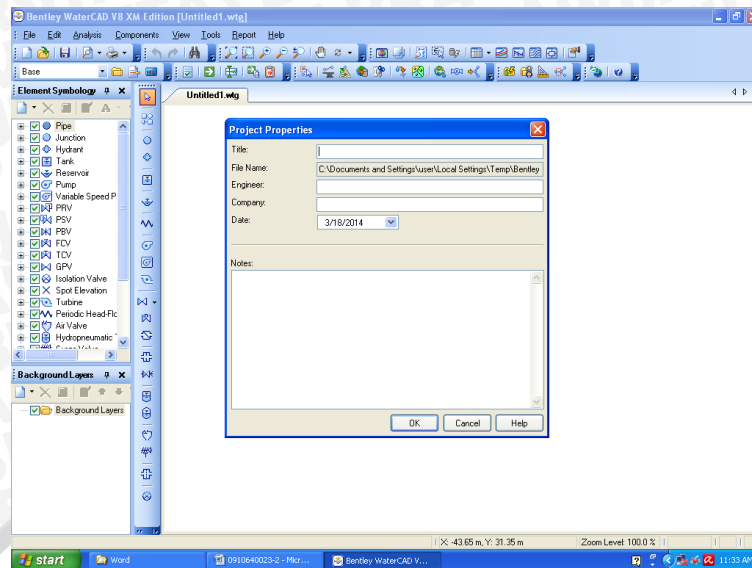
Berikut adalah tahapan pengerjaan *WaterCAD V8 XM Edition*

1. Pada saat membukaprogram *WaterCAD* pertama kali akan ditampilkan sebuah *dialog box*. Kotak tersebut memuat *Quick Start Leason*, *Create New Project*, *Open Existing Project* dan *Open from Project Wise*.

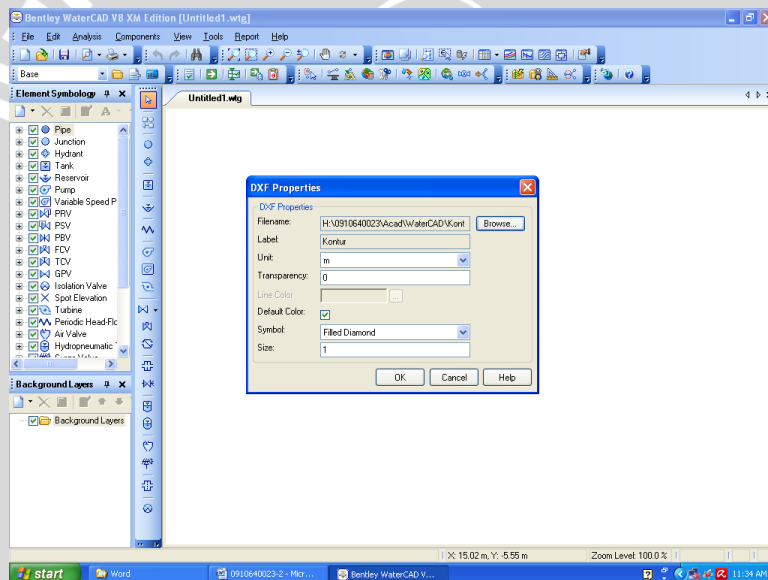


Gambar 2.18 Tampilan Awal *WaterCAD V8 XM Edition*
Sumber: Bentley

2. Pada *Quick Start Leason* dapat mempelajari program dengan melihat jaringan yang telah ada. Kita akan dituntun *WaterCAD V8 XM Edition* mempelajari penggunaan program ini. Untuk membuka *Quick Start Leason* dilakukan dengan mendouble klik kotak *Quick Start Leason*.

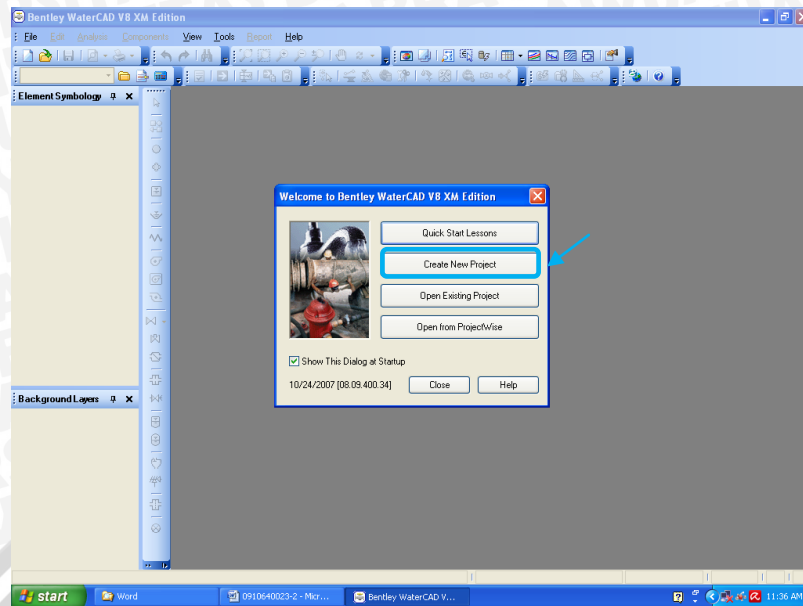


Gambar 2.19 Tampilan *Project Properties* pada *WaterCAD V8 XM Edition*
Sumber: Bentley

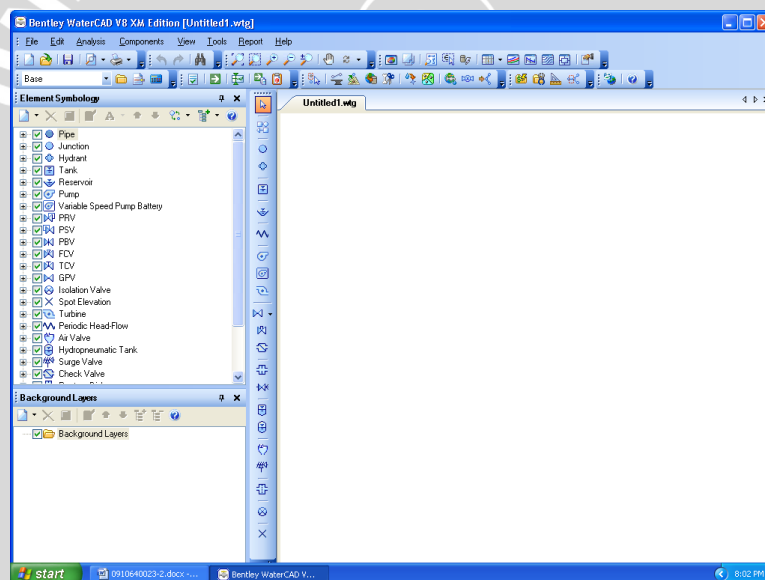


Gambar 2.20 Tampilan *DXF Properties* pada *WaterCAD V8 XM Edition*
Sumber: Bentley

- Untuk membuat lembar kerja baru langkah pertama setelah membuka *WaterCAD V8 XM Edition* pada kotak awal program, pilih dan mendouble klik kotak *Create New Project*

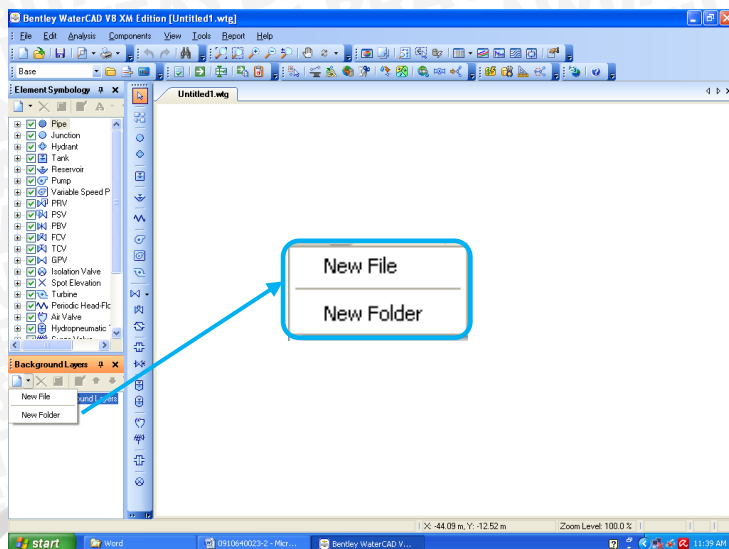


Gambar 2.21 Tampilan *welcome dialog* pada *WaterCAD V8 XM Edition*
Sumber: Bentley

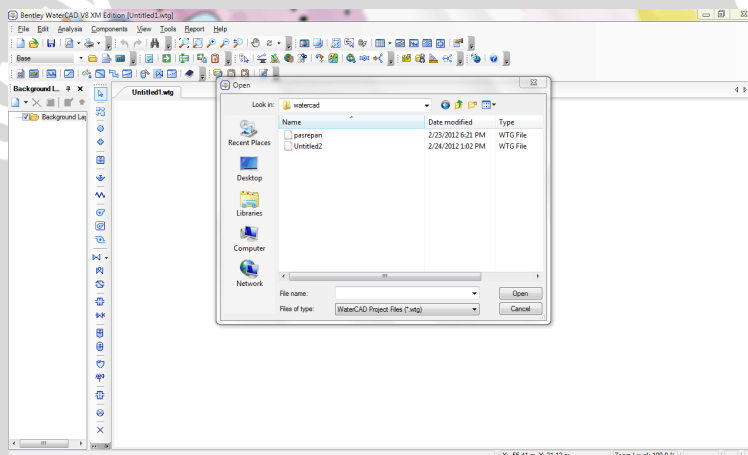


Gambar 2.22 Tampilan Lembar Kerja pada *WaterCAD V8 XM Edition*
Sumber: Bentley

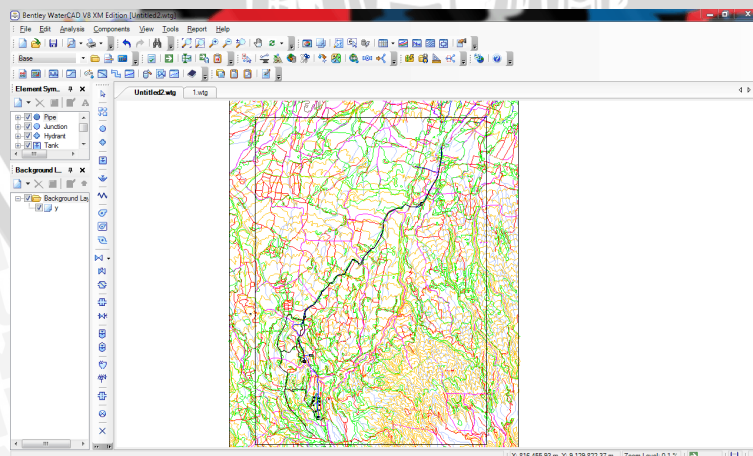
4. Setelah masuk kedalam lembar kerja pilihlah pada *background layers* dengan mendoble klik kanan *background layers* → New → file dan pilih *file.dxf*.
5. Setelah file berbentuk dxf dalam kotak *properties* unit diganti ke dalam satuan meter, setelah itu klik OK dan *zoom extents*



Gambar 2.23 Tampilan *background layers* pada *WaterCAD V8 XM Edition*
 Sumber: Bentley



Gambar 2.24 Tampilan *select background* pada *WaterCAD V8 XM Edition*
 Sumber: Bentley



Gambar 2.25 Tampilan *background* pada *WaterCAD V8 XM Edition*
 Sumber: Bentley



Dalam *WaterCAD*, komponen-komponen sistem jaringan air bersih seperti titik simpul (*junction*), pipa (*pipe*), tandon (*tank*), mata air (*reservoir*) dan pompa (*pump*) tersebut dimodelkan sedemikian rupa sehingga mendekati kinerja komponen tersebut di lapangan. Untuk keperluan pemodelan, *WaterCAD* telah memberikan penamaan setiap komponen tersebut secara otomatis yang dapat diganti sesuai dengan keperluan agar memudahkan dalam pengerjaan, pengamatan, penggantian ataupun pencarian suatu komponen tertentu. Agar dapat memodelkan setiap komponen sistem jaringan distribusi air bersih dengan benar, perancang harus mengetahui cara memodelkan komponen tersebut dalam *WaterCAD*. Adapun jenis-jenis pemodelan komponen sistem jaringan distribusi air bersih dalam *WaterCAD* adalah

- Titik simpul (*junction*)

Titik simpul merupakan suatu symbol yang mewakili atau komponen yang bersinggungan langsung dengan konsumen dalam hal pemberian air bersih. Ada dua tipe aliran pada titik simpul ini, yaitu berupa kebutuhan air (*demand*) dan berupa aliran masuk (*inflow*). Jenis aliran berupa kebutuhan air bersih terjadi jika pada titik tersebut terjadi pengambilan air, sedangkan aliran masuk jika di dalam titik tersebut terjadi penambahan debit yang masuk. Data yang dibutuhkan sebagai masukan bagi titik simpul adalah elevasi dan kebutuhan air pada titik tersebut.

- Pemodelan kebutuhan air bersih

Kebutuhan air bersih pada tiap-tiap titik simpul dapat berbeda-beda yang bergantung dari luas cakupan layanan dan jumlah konsumen pada titik simpul tersebut. Kebutuhan air menurut *WaterCAD* dibagi menjadi dua yaitu kebutuhan tetap (*fixed demand*) dan kebutuhan berubah (*variable demand*). Kebutuhan tetap adalah kebutuhan air merata tiap harinya sedangkan kebutuhan berubah atau berfluktuatif adalah kebutuhan air yang berubah setiap jamnya sesuai dengan pemakaian air.

Data *fixed demand* atau yang disebut pula *baseline flow* kurang akurat bila digunakan untuk perancangan kebutuhan air bersih. Umumnya data ini hanya digunakan untuk mengetahui besar kebutuhan tiap jam atau harian secara rata-rata.

Data *variable demand* inilah yang digunakan untuk mendekati kondisi nyata di lapangan. Situasi pada saat kebutuhan air seperti ini disebut dengan *Extended Period Simulation (EPS)*.

Saat kebutuhan air diatur pada baseline flow, kondisi aliran di dalam pipa berupa aliran tetap (steady flow). Maka secara otomatis *WaterCAD* akan mengatur skenario menjadi Steady State Simulation. Sedangkan bila tersedia data kebutuhan air yang berfluktuatif (variable demand) maka skenario *WaterCAD* dapat diatur menjadi Extended Period Simulation (EPS) dan aliran yang terjadi adalah aliran berubah beraturan menurut waktu.

- Pipa (*pipe*)

Pipa adalah komponen yang menghubungkan katub, titik simpul, tandon dan mata air. Untuk memodelkan pipa diperlukan beberapa data teknis seperti jenis bahan, diameter, panjang, kekasaran dan status pipa, kekasaran (roughness) dan status pipa (buka tutup). Jenis bahan pipa oleh *WaterCAD* telah disediakan sehingga dapat dipilih secara langsung sesuai dengan jenis bahan pipa yang digunakan di lapangan. Sedangkan diameter dan panjang pipa dapat dirancang sesuai dengan kondisi di lapangan melalui prototypes tools. Apabila diatur secara skalatis, maka ukuran panjang pipa secara otomatis berubah sesuai dengan perbandingan skala ukuran yang dimasukkan. Sedangkan dalam pengaturan skematis, panjang pipa dapat langsung dimasukkan sebagai data tanpa memperhatikan panjang pipa di layar komputer.

- Tandon (*tank*)

Untuk memodelkan tandon diperlukan beberapa data yaitu ukuran bentuk ($p \times l \times t$) dan elevasi dasar tandon, elevasi minimum, initial dan maximum elevasi air yang ada pada tandon

- Mata air (*reservoir*)

Pada program *WaterCAD*, *reservoir* digunakan sebagai pemodelan dari suatu sumber air seperti danau dan sungai. Dalam hal ini *reservoir* dimodelkan sebagai sumber yang tidak bisa habis atau elevasi konstan setiap waktu. Data yang diperlukan adalah data elevasi mata air tersebut.

2.8 Model Optimasi

Air merupakan Kebutuhan pokok bagi mahluk hidup. Berbanding lurus dengan perubahan keadaan sosial ekonomi masyarakat dan zaman, hal ini menyebabkan kebutuhan akan air juga semakin besar dan beragam jenisnya. Dengan bertambah besarnya kebutuhan akan air dan tuntutan ketersediaannya pada waktu dan tempat berbeda, maka dibutuhkanlah suatu penjatahan air supaya maksud tersebut dapat dicapai. Sehingga perlu dibuat suatu model sehingga dapat dilakukan analisis optimasi.

Dalam hal yang dimaksud dengan model optimasi adalah penyusutan model suatu system yang sesuai dengan keadaan nyata dan kebutuhan, yang nantinya dapat dirubah ke dalam model matematis dengan pemisahan elemen-elemen pokok dan parameter yang sesuai dengan sasaran dan tujuan pengambilan keutusan dapat tercapai.

2.8.1 Optimasi dengan Program Dinamik

Optimasi adalah suatu rancangan dalam pemecahan model-model perencanaan dengan mendasarkan pada fungsi matematika yang membatasi. Berikut adalah jenis-jenis optimasi berkendala (Kesuma, 2012: 11):

1. *Langrange Multipliers (Pendarap Langrange)*

Adalah penyelesaian optimasi dengan menggunakan kendala linier

2. *Linier Programming (Program Linier)*

Adalah penyelesaian optimasi dengan menggunakan persamaan linier

3. *Quadratic Programming (Program Kuadratik)*

Adalah penyelesaian optimasi dengan menggunakan program matematis dengan fungsi linier dan fungsi tujuan non linier

4. *Geometric Programming (Program Geometrik)*

Adalah penyelesaian optimasi dengan menggunakan persamaan geometri

5. *Dynamic Programming (Program Dinamik)*

Adalah suatu pendekatan untuk mengoptimasi proses-proses keputusan bertahap ganda

Analisa pada studi ini dipakai dengan program dinamik. Program Dinamik (*Dynamic Programming*) menurut Subagyo adalah suatu kumpulan teknik-teknik programisasi matematis yang digunakan untuk pengambilan keputusan yang terdiri dari banyak tahap (*multistage*). Suatu masalah pengambilan keputusan yang *multistage* dipisah-pisahkan menjadi suatu seri masalah atau submasalah yang berurutan dan saling berhubungan. Program dinamik dikembangkan pertama kali oleh Richard E. Bellman pada tahun 1957 (Montarcih, 2007: 26)

Tujuan utama model menurut Dimiyati adalah untuk mempermudah penyelesaian persoalan optimasi yang mempunyai karakteristik tertentu. Ide dasar program dinamik ini adalah membagi persoalan menjadi beberapa bagian yang lebih kecil sehingga memudahkan penyelesaiannya. Karena itu, persamaan yang digunakan harus dikembangkan agar dapat memenuhi masing-masing situasi yang dihadapi. Dengan demikian, maka antara persoalan yang satu dengan yang lainnya dapat mempunyai struktur penyelesaian persoalan yang berbeda (Montarcih, 2007: 26).

Problem optimasi dalam pengelolaan sumber daya air lebih sering bersifat *non-linier*. Salah satu metode untuk menyelesaikannya adalah dengan program dinamik. Tidak seperti program linier, yang mempunyai prosedur penyelesaian standar seperti simplex, pada optimasi dinamik tidak ada prosedur penyelesaian yang standar. Namun ada konsep dasar optimasi dinamik adalah sebagai berikut:

1. dekomposisi problem menjadi subproblem
2. kombinasi non-optimal secara otomatis tereleminasi
3. subproblem-subproblem dihubungkan satu sama lain sedemikian sehingga tidak terdapat kemungkinan untuk mengoptimasi kombinasi-kombinasi yang tidak *feasible*.

2.8.2 Konsep Dasar Program Dinamik

Menurut Subagyo program dinamik (*dynamic programming*) adalah suatu pendekatan untuk mengoptimasi proses-proses keputusan multi tahap. Program dinamik dibagi menjadi dua yaitu dinamik deterministik dan stokastik. Sifat-sifat dasar yang menjadi karakteristik problem program dinamik diantaranya adalah problem yang dipecah menjadi tahap (*stages*) dengan variable keputusan (*decision*) pada setiap tahap. Situasi

demikian kelihatannya memang merupakan realitas dimana-mana, termasuk juga didalam sistem keairan, dimana adalah sulit untuk menentukan nilai dari parameter-parameter secara eksak. Cara analisis sensitivitas memang dapat digunakan untuk mempelajari efek dari perubahan nilai dari parameter-parameter problem pada solusi optimal (Montarcih, 2007: 41).

Berikut adalah karakteristik dari program dinamik:

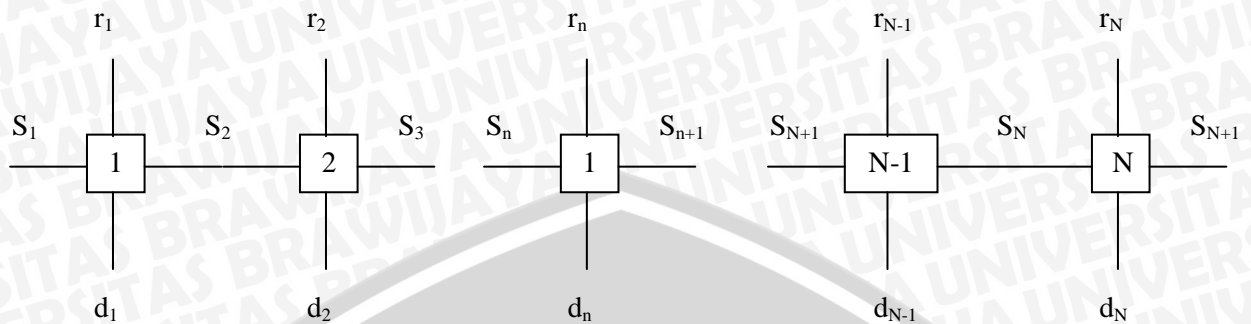
1. problem dipecah menjadi tahap-tahap (*stages*) dan ada variabel keputusan di setiap tahap tersebut
2. setiap tahap mempunyai sejumlah *state*
3. efek dari setiap tahap adalah:
 - menghasilkan *return* berdasarkan fungsi *stage return*
 - mentransformasikan *state variable* sekarang menjadi *state variable* untuk tahap berikutnya lewat *state transformation*
4. keputusan untuk tahap berikutnya tidak tergantung dari keputusan yang telah diambil pada tahap sebelumnya
5. Penyelesaian DP dimulai dari tahap awal dan bergerak ke tahap akhir (*forward recursive*) atau sebaliknya (*backward recursive*)
6. Pada (*forward recursive*) untuk setiap tahap ditentukan kebijakan optimal berdasarkan kebijakan optimal dari tahap sebelumnya dan fungsi tujuan. Persamaan *forward recursive* dapat ditulis dengan (Montarcih dan Widandi, 2007: 45)

$$f_n^*(S_n) = \text{opt}_{d_n} [r_n(S_n, d_n) \text{ O } f_{n-1}^*(S_{n-1})]$$

dengan O menyatakan suatu operasi aljabar yang bisa berupa penambahan, pengurangan, perkalian ataupun yang lainnya sesuai dengan yang dimaksudkan dalam problem yang bersangkutan. Persamaan (*backward recursive*) dapat ditulis sebagai

$$f_n^*(S_n) = \text{opt}_{d_n} [r_n(S_n, d_n) \text{ O } f_{n+1}^*(S_{n+1})]$$

2.8.3 Elemen-Elemen Program Dinamik



Gambar 2.26 Diagram Urutan Problem Dinamik Serial

Sumber: Montarcih, 2009:49

Mengacu pada gambar 2. di atas, elemen-elemen model program dinamik adalah sebagai berikut (Montarcih, 2007:49)

1. Tahap /*Stage* (n)

Merupakan bagian dari problem dimana keputusan (*decision*) diambil. Jika suatu problem dapat dipecah menjadi N subproblem, maka ada N tahap dalam formulasi DP tersebut. Tahapan pada *multi stage problem* yang dimaksud dalam studi ini adalah tahapan tempat yaitu antara tandon/*reservoir* yang satu dengan yang lain.

2. Variabel Keputusan/*Decision Variable* (d_n)

Merupakan besaran dari keputusan (*decision*) yang diambil pada setiap tahap. Variable keputusan dalam studi ini adalah besarnya debit yang dialokasikan atau debit yang dibutuhkan tiap tandon/ *reservoir* serta keuntungan bersih yang diperoleh. Keputusan yang diambil pada setiap tahap akan ditransformasikan ke dalam keputusan berikutnya pada tahap berikutnya, sehingga didapat optimum secara keseluruhan.

3. Variabel Status/*State Variable* (S_n)

Merupakan variabel yang mewakili/menjelaskan status (*state*) dari sistem yang berhubungan dengan tahap ke n . Fungsi dari variabel status adalah untuk menghubungkan tahap-tahap secara berurutan sedemikian sehingga apabila setiap tahap dioptimasi secara terpisah, maka keputusan yang dihasilkan adalah layak (*feasible*) untuk seluruh problem. Lebih lanjut, keputusan-keputusan optimal dapat diambil untuk tahap tersisa tanpa harus melakukan cek pada akibat dari keputusan berikutnya terhadap keputusan yang telah diambil terdahulu. Untuk tahap ke- n ,

variabel status dibelakangnya (S_n) disebut sebagai variabel status input, sedangkan variabel didepannya (S_{n+1}) disebut sebagai variabel output. Didalam studi ini, status variabel berupa debit yang ada atau tersedia terus menerus pada sumber air.

4. Akibat Tahap/*Stage Return* (r_n)

Merupakan ukuran skalar dari hasil keputusan yang diambil pada setiap tahap. Akibat tahap (*Stage Return*) ini merupakan fungsi dari variabel-variabel S_n (status input), S_{n+1} (status output), dan d_n (keputusan), sehingga dapat dinyatakan sebagai fungsi berikut.

$$r_n = r(S_n, S_{n+1}, d_n) \quad (2-33)$$

Akibat tahap dalam studi ini merupakan keuntungan sebagai fungsi debit pada suatu kondisi debit tertentu.

5. Transformasi Tahap/*Stage Transformation* atau Transisi Status/*State Transition* (t_n)

Merupakan suatu transformasi nilai tunggal yang menyatakan hubungan antara variabel-variabel S_n (status input), S_{n+1} (status output), dan d_n (keputusan), yang dinyatakan sebagai persamaan berikut.

$$S_{n+1} = t_n(S_n, d_n) \quad (2-34)$$

Stage Transformation dalam studi ini adalah perubahan air tersedia sampai air yang terdistribusikan pada tiap bangunan air bersih.

Program dinamik sendiri ada 2 macam yaitu deterministik dan stokastik, dimana dalam deterministik sendiri dibagi menjadi 2 yaitu Program Dinamik Model Alokasi dan Program Dinamik Model Network.

2.8.4 Program Dinamik Deterministik Model Alokasi

Program dinamik model alokasi sendiri terbagi menjadi 2 yaitu diskrit dan *continuous*

2.8.4.1 Dinamik Model Alokasi (Diskrit)

Secara umum model ini mengalokasikan sejumlah S sumber daya (*resources*) ke N sasaran (*target*). Setiap sasaran N_i mendapatkan alokasi sumber daya sebanyak D_i . Setiap alokasi D_i akan mengakibatkan suatu *return* R_i . Tujuan (*objective*) adalah mengoptimasikan *return* keseluruhan R .

Dalam model alokasi ini, problem dibagi menjadi N tahap (*stage*). Pada setiap tahap, dialokasikan sumberdaya sebanyak D_i kepada sasaran N_i . *State-Variable*-nya

adalah banyaknya sumberdaya S baik sebelum maupun sesudah suatu tahap. Jadi *state variable input* (S_i) adalah banyaknya sumber daya S sesuai tahap ke- i , dan *state variable output* (S_{i+1}) adalah banyaknya sumber daya Sesuai tahap ke- i . Variabel keputusan (*Decision Variable*) adalah alokasi D_i ke N_i . Jadi dapat disimpulkan bahwa *Stage Transformation* adalah:

$$S_{i+1} = S_i + D_i$$

Kendala jumlah sumber daya S dinyatakan sebagai

$$S = \sum_{i=1}^n D_i$$

Disamping kendala jumlah sumber daya, terdapat kendala lain yang bergantung pada kondisi yang ada. Optimasi fungsi tujuan (*Objective Function*), dapat berupa memaksimalkan atau meminimumkan.

2.8.4.2 Program Dinamik Model Alokasi (*Continuous*)

Model ini sama seperti Program Dinamik Model Alokasi Diskrit, namun perbedaannya pada *State Variable* yang bersifat *Continuous*.

2.8.5 Prosedur Perhitungan

Teknik perhitungan programisasi dinamik terutama didasarkan pada prinsip optimasi *recursive* (bersifat pengulangan) yang diketahui sebagai prinsip optimalisasi (*principle of optimality*). Menurut Subagyo Prinsip ini mengandung arti bahwa bila dibuat keputusan *multi stage* mulai pada tahap tertentu, kebijakan optimal untuk tahap-tahap selanjutnya tergantung pada ketetapan tahap permulaan tanpa menghiraukan bagaimana diperoleh suatu ketetapan tertentu tersebut.

2.8.6 Contoh Model Dinamik Deterministik Alokasi

Daerah pengguna air baku di bagi menjadi 3 sub-area berupa desa dan kelurahan, yaitu Desa Tontouan, Kelurahan Hanga-Hanga, dan Kelurahan Hanga-Hanga Permai. Dengan total jumlah penduduk 6.253 jiwa pada tahun 2012. Kebutuhan air baku penduduk pada tahun 2012 adalah 3,8 lt /dt dan total debit dari dua sumber sebesar 3,883 lt/dt. Harga air baku per liter diasumsikan 50 rupiah/ m³.

Data jumlah jiwa pada tahun 2012 adalah sebagai berikut:

Tontouan = 1.851 jiwa

Hanga-Hanga = 3.118 jiwa

Hanga-Hanga Permai = 1.284 jiwa

Tabel 2.12 Contoh Pengerjaan Program Optimasi Deterministik Model Alokasi

Alokasi ke Desa Tontouan							
Pemberian Air (unit)	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	3.8
Keuntungan	92550	111060	129570	148080	166590	185100	351690
Alokasi ke Kel. Hanga-Hanga							
Pemberian Air (unit)	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	3.8
Keuntungan	155900	187080	218260	249440	280620	311800	592420
Alokasi ke Kel. Hanga-Hanga Permai							
Pemberian Air (unit)	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	3.8
Keuntungan	64200	77040	89880	102720	115560	128400	243960

Alokasi sub area 1

tersedia	sisanya	2	2.2	2.4	2.6	2.8
3.8		166590	148080	129570	111060	92550
	Maximum	166590	148080	129570	111060	92550
	Decision	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8

Alokasi sub area 2

tersedia	sisanya	1	1.2	1.4	1.6	1.8
2		322490	-	-	-	166590
2.2		335160	303980	-	-	148080
2.4		347830	316650	285470	-	129570
2.6		360500	360500	298140	266960	111060
2.8		373170	373170	310810	279630	248450
	Maximum	373170	373170	310810	279630	248450
	Decision	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8

Alokasi sub area 3

tersedia	sis	0	
1		437370	373170
1.2		450210	373170
1.4		400690	310810
1.6		382350	279630
1.8		364010	248450
	Maximum	450210	
	Decision	1.2	

Jalur optimal atau hasil optimasi tiap desa dan kelurahan = 3.8 – 2.8 – 1.2

keuntungan maksimum yang diperoleh adalah = Rp 450.210

2.9 Analisa Ekonomi

2.9.1 Umum

Pelaksanaan proyek-proyek pemerintahan secara esensi memiliki karakteristik maupun tujuan yang berbeda dengan proyek-proyek swasta. Kalau sebelumnya kita mengetahui bahwa proyek-proyek swasta senantiasa diukur berdasarkan nilai keuntungan yang dijanjikan, maka pada proyek-proyek pemerintahan kriteria kelayakan tidak selamanya bisa atau harus diukur berdasarkan keuntungannya. (Kesuma, 2012: 15) dan pada umumnya dalam mempertimbangkan kelayakan dari suatu proyek pembangunan aspek yang perlu dikaji terlebih dahulu adalah aspek manfaat (*Benefit*) dan biaya (*Cost*).

2.9.2 Komponen Biaya (*Cost*)

Komponen biaya yang berhubungan dengan pengembangan sebuah proyek dapat diklasifikasikan dalam empat kategori:

1. *Procurement Cost*

Procurement Cost atau biaya pengadaan adalah semua biaya yang dikeluarkan berkaitan dengan pengadaan. Biaya pengadaan ini biasanya dikeluarkan pada tahun-tahun pertama (*initial cost*) sebelum proyek dilaksanakan.

2. *Start Up Cost*

Start Up Cost atau biaya persiapan operasional adalah semua biaya yang dikeluarkan sebagai upaya membuat proyek siap untuk dilaksanakan. Sama dengan biaya pengadaan, biaya persiapan operasional ini juga merupakan “*initial cost*”

3. *Project Related Cost*

Project Related Cost atau biaya proyek adalah biaya yang berkaitan dengan biaya mengembangkan proyek termasuk biaya penerapannya.

4. *Ongoing and Maintenance Cost*

Ongoing and Maintenance Cost atau biaya operasional adalah biaya untuk mengoperasikan proyek agar proyek dapat berjalan dengan baik. Sedangkan biaya perawatan adalah biaya untuk perawatan pada masa pelaksanaannya

Komponen biaya dalam kajian ini adalah dari dokumen anggaran pemerintah desa dan kecamatan yang telah dialokasikan untuk pembangunan, rehabilitasi, pemeliharaan dan peningkatan jaringan air bersih kecamatan Junrejo.

2.9.3 **Komponen Manfaat (*Benefit*)**

Sedangkan komponen manfaat yang didapat dari sebuah proyek dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Manfaat langsung

Manfaat langsung dapat berupa peningkatan output secara kualitatif dan kuantitatif akibat penggunaan proyek tersebut

2. Manfaat tidak Langsung

Manfaat tidak langsung adalah manfaat yang muncul diluar proyek, namun sebagai dampak adanya proyek. Manfaat ini dapat berupa meningkatnya pendapatan masyarakat disekitar (sulit diukur)

3. Manfaat Terkait

Manfaat terkait merupakan keuntungan-keuntungan yang sulit dinyatakan dengan sejumlah uang, namun benar-benar dapat dirasakan, seperti keamanan dan kenyamanan.

Dalam studi untuk perhitungan hanya didapat dari manfaat langsung dan sifatnya terbatas, karena tingkat kesulitan dalam menilaia secara ekonomi.

Dalam kajian ini, yang dimaksud manfaat adalah seberapa besar nilai ekonomis hasil produksi yang didapat dibandingkan dengan anggaran yang telah dialokasikan.

2.9.4 Tingkat Bunga untuk Proyek-Proyek Pemerintah

Adapun beberapa cara yang bisa dipakai untuk menentukan tingkat bunga yang berlaku pada suatu proyek pemerintahan, antara lain :

1. Berpatokan pada tingkat bunga dari dana pinjaman proyek.
2. Didasarkan pada ongkos kesempatan dari dana yang dipakai dari sudut pandang pemerintahan.
3. Didasarkan ongkos kesempatan dana tersebut bisa dilihat dari sudut pandang pembayaran pajak.

2.9.5 Perhitungan *Benefit Cost Ratio*

Proyek dikatakan layak untuk dibangun jika nilai B/C dari proyek tersebut lebih dari satu. Hal ini menunjukkan nilai benefit proyek. Sehingga dapat dikatakan proyek tersebut tidak mengalami kerugian bila dikerjakan. Perbandingan untung-biaya dapat ditentukan sebagai perbandingan dari nilai keuntungan ekuivalen terhadap nilai biaya ekuivalen. Nilai-nilai ekuivalen biasanya adalah A.W.s (*Annual Worths*) atau P.W.s (*Present Worths*), tetapi bisa juga F.W.s (*Future Worths*). Dua rumus yang bisa dipakai dalam menghitung nilai B/C adalah (Joyowiyono, 1992. 237):

Perbandingan B/C konvensional (biasa)

$$B/C = \frac{A.W.(\text{keuntungan bersih untuk pemakai})}{A.W.(\text{biaya bersih untuk pemasok})} \quad (2-35)$$

$$= \frac{B}{C.R.+(O+M)} \quad (2-36)$$

Dimana:

A.W.(.)= nilai tahunan dari (.)

B = nilai tahunan keuntungan bersih (keuntungan kotor-biaya)

C.R. = biaya pemulihan modal atau biaya tahunan ekuivalen dari investasi permulaan termasuk setiap nilai jaul lagi

$O + M$ = biaya operasional bersih tahunan seragam serta perawatan

Perbandingan B/C setelah dirubah:

$$B/C = \frac{B-(O+M)}{C.R.} \quad (2-37)$$

Pembilang (numerator) dari perbandingan B/C yang telah dirubah menyatakan nilai ekivalen dari keuntungan bersih dikurangi biaya operasional dan perawatan, sedangkan penyebut hanya mencakup biaya-biaya investasi

Metode perbandingan B/C yang konvensional nampaknya telah tergantikan oleh B/C yang termodifikasi, walaupun kedua metode memberikan jawaban yang sama-sama cocok berkenaan dengan nilai $B/C > 1$ atau $B/C < 1$.

2.9.6 *Internal Rate Return*

IRR adalah tingkat bunga yang dapat membuat besarnya nilai nilai sekarang positif bersih sama dengan nol atau suku bunga saat B/C sama dengan satu atau $B = C \times IRR$ menunjukkan kemampuan suatu proyek untuk menghasilkan pengembalian atau tingkat keuntungan yang dapat dicapai proyek tersebut.

Langkah yang perlu dilakukan untuk menganalisa IRR adalah :

1. Menganalisa perhitungan manfaat yang meliputi semua aspek yang sudah ditentukan diatas, dengan memperhitungkan nilai uang dalam waktu antara lain (Sunaryo dan Sjarief, 2001):

- Future Value Factor (FVF)

Adalah faktor pengali (majemuk) untuk menghitung nilai mendatang (F) dan jumlah sekarang (P) pada akhir periode ke-n pada tingkat bunga ke-i, yaitu $(1+i)^n$

$$F = P(1+i)^n \quad (2-38)$$

dimana :

F = nilai pada periode ke-n dengan suku bunga ke-i

P = nilai pada saat sekarang

i = tingkat suku bunga

n = periode

- Present Value Factor (PVF)

Adalah faktor pengali (diskonto) untuk menghitung nilai sekarang (P) dari suatu nilai yang akan datang (F) pada akhir periode ke-n pada tingkat bunga i , yaitu $1/\{(1+i)^n\}$

$$P = F/\{(1+i)^n\} \quad (2-39)$$

dimana :

F = nilai pada periode ke-n dengan suku bunga ke-i

P = nilai pada saat sekarang

i = tingkat suku bunga

n = periode

- Present Value (PV)

Adalah nilai uang saat ini untuk nilai tertentu di masa yang akan datang (ismimiitsme.blogspot.com/2013/11/pengertian-rumus-tabel-future-value-fv.html?m=1)

$$PV = FV \times (1+r)^{-n}$$

PV = nilai sekarang

FV = nilai pada akhir tahun

r = suku bunga

n = waktu (tahun)

2. Setelah semua komponen biaya dan manfaat diperoleh, kemudian dibuat aliran khas sesuai dengan usia bunga yang diperhitungkan terhadap proyek yang direncanakan. Dari aliran khas dapat dihitung *net benefit* untuk tiap tahun sampai dengan umur ekonomis proyek kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan IRR.
3. Perhitungan IRR dapat dilakukan dengan cara coba-coba atau dapat juga dihitung dengan program computer. Untuk perhitungan coba-coba, mula-mula dipakai tingkat suku bunga yang mendekati harga IRR.