

BAB II

LANDASAN TEORI

Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air bersih selalu meningkat sesuai dengan penambahan penduduk dan peningkatan kebutuhan kesehatan, pertanian dan industri. Sedangkan penyediaan air yang berasal dari aliran makin berkurang, hal ini diikuti oleh kualitas air yang menunjukkan kecenderungan menurun. Semakin padat penduduk di kota mengakibatkan tanah-tanah dikota semakin banyak air mendapat kontaminasi (pencemaran). Untuk mendapatkan penyediaan air bersih perlu dipikirkan pendirian suatu instalasi, misal dengan membangun perusahaan air minum.

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 tahun 2007 perkiraan kebutuhan air hanya berdasar pada data sekunder sosial ekonomi dan kebutuhan air diklasifikasikan berdasarkan aktifitas perkotaan atau masyarakat, yaitu domestik (rumah tangga dan sosial) dan nondomestik (komersial, perkotaan, fasilitas umum, industri, pelabuhan, dan lain-lain).

Analisis kebutuhan air bersih ini ditargetkan kebutuhan air bersih masyarakat dapat dipenuhi dengan tingkat pelayanan hingga 100 % dari jumlah pelanggan PDAM Tirta Galuh Cabang Cisaga pada masa mendatang dimana dengan menggunakan data penduduk terakhir tahun 2019 dan kemudian sampai dengan 6 tahun ke depan yaitu tahun 2025.

Air Bersih

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 416 tahun 1990 pengertian air bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum apabila telah dimasak. Persyaratan air bersih adalah air yang memenuhi salah satu dari syarat air minum sebagaimana yang telah ditentukan oleh Departemen Kesehatan RI, baik secara fisika, kimia, mikrobiologi, maupun radioaktif.

1. Parameter Fisika

- Tidak berbau, air yang berbau dapat disebabkan proses penguraian bahan organik yang terdapat di dalam air.
- Jernih, air keruh mengandung partikel padat tersuspensi yang dapat berupa zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan. Disamping itu, air yang keruh sulit didesinfeksi, karena mikroba pathogen dapat terlindung oleh partikel tersebut.
- Tidak berasa, air yang tidak tawar mengindikasikan adanya zat-zat tertentu di dalam air tersebut.
- Suhu, air yang baik tidak boleh memiliki perbedaan suhu yang mencolok dengan udara sekitar (udara ambien). Suhu air minum di Indonesia idealnya ± 3 °C dari suhu udara di atas atau di bawah suhu udara berarti mengandung zat-zat tertentu (misalnya fenol yang terlarut) atau sedang terjadi proses biokimia yang mengeluarkan atau menyerap energi air.
- TDS (*Total Dissolved Solid*), adalah bahan-bahan terlarut (diameter $<10^{-6}$ - 10^{-3} mm) yang berupa senyawa-senyawa kimia dan bahan-bahan lain (Effendi, 2002). Bila TDS bertambah maka kesadahan akan naik.

Kesadahan mengakibatkan terjadinya endapan/kerak pada sistem perpipaan.

2. Parameter Kimia

Parameter kimiawi dikelompokkan menjadi kimia organik dan kimia anorganik.

- Zat kimia anorganik dapat berupa logam, zat reaktif, zat-zat berbahaya dan beracun serta derajat keasaman (pH).
- Zat kimia organik dapat berupa insektisida dan herbisida, *volatile organic chemicals* (zat kimia organik mudah menguap) zat-zat berbahaya dan beracun maupun zat pengikat oksigen.

Sumber logam pada air dapat berasal dari kegiatan industri, pertambangan ataupun proses pelapukan secara alamiah, atau karena korosi dari pipa penyalur air. Bahan kimia organik dalam air minum dapat dibedakan menjadi 3 kategori. Kategori 1 adalah bahan kimia yang mungkin bersifat *carcinogen* bagi manusia. Kategori 2 bahan kimia yang tidak bersifat *carcinogen* bagi manusia. Kategori 3 adalah bahan kimia yang dapat menyebabkan penyakit kronis tanpa ada fakta *carcinogen*.

3. Parameter Mikrobiologi

Indikator organisme yang dipakai sebagai parameter mikrobiologi digunakan bakteri koliform (*indicator organism*). Secara laboratoris *total coliform* digunakan sebagai indikator adanya pencemaran air bersih oleh tinja, tanah atau sumber alamiah lainnya. Sedangkan *fecal coliform* (koliform tinja) digunakan sebagai indikator adanya pencemaran air bersih oleh tinja manusia atau hewan. Parameter

mikrobiologi tersebut dipakai sebagai parameter untuk mencegah mikroba patogen dalam air minum.

Berdasarkan jumlah bakteri koliform yang terkandung dalam 100 cc sampel air (*Most Probability Number/MPN*), kondisi air dibagi kedalam beberapa golongan sebagai berikut (Chandra, 2007) :

- Air tanpa pengotoran ; mata air (artesis) bebas dari kontaminasi bakteri koliform dan patogen atau zat kimia beracun.
- Air yang sudah mengalami proses desinfeksi ; MPN < 50/100 cc.
- Air dengan penjernihan lengkap; MPN < 5000/100 cc.
- Air dengan penjernihan tidak lengkap; MPN > 5000/100 cc.
- Air dengan penjernihan khusus (*water purification*); MPN > 250.000/100 cc.
- MPN mewakili *Most Probable Number*, yaitu jumlah terkaan terdekat dari bakteri koliform dalam 100 cc air.

4. Parameter Radioaktivitas

Zat radioaktivitas dapat menimbulkan efek kerusakan sel. Kerusakan tersebut dapat berupa kematian dan perubahan komposisi genetik. Sel yang mati dapat tergantikan asalkan belum seluruh sel mati, sedangkan perubahan genetis dapat menimbulkan penyakit seperti kanker atau mutasi sel.

Sistem Penyediaan Air Bersih

Sistem penyediaan air bersih adalah suatu sistem suplai air bersih yang meliputi sistem pengambilan air baku, proses pengolahan, sistem transmisi dan reservoir, serta sistem distribusi atau perpipaan yang dioperasikan sedemikian rupa

sehingga terdapat tekanan air yang cukup setiap saat pada seluruh bagian sistem perpipaan dan dapat digunakan setiap saat.

Penentuan kapasitas sistem penyediaan air bersih diperlukan suatu standar perencanaan yang dijadikan sebagai acuan dalam perancangan. Kriteria tersebut mencakup kebutuhan air domestik dan non domestik, tingkat pelayanan, waktu operasi sistem, periode perencanaan, dan kehilangan air.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007 tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) menyebutkan bahwa pengoperasian sarana SPAM bertujuan untuk menjalankan keseluruhan dan/atau sebagian unit, meliputi :

1. Unit Air baku

Unit air baku adalah sarana dan prasarana pengambilan dan/atau penyedia air baku, meliputi bangunan penampungan air, bangunan pengambilan/penyadapan, alat pengukuran, peralatan pemantauan, sistem pemompaan, dan/atau bangunan sarana pembawa serta perlengkapannya. Beberapa sumber air baku yang dapat digunakan untuk penyediaan air bersih dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Air hujan

Air hujan mempunyai kualitas yang cukup baik, namun air baku yang berasal dari air hujan pada umumnya pH rendah sehingga dapat mengakibatkan kerusakan-kerusakan terhadap logam, yaitu dengan timbulnya kerak. Disamping itu, kuantitas air hujan tergantung pada besar kecilnya curah hujan, sehingga air hujan tidak mencukupi untuk

persediaan umum karena jumlahnya bersifat fluktuatif. Bila dilihat dari segi kontinuitasnya, air hujan tidak dapat diambil secara terus menerus, karena tergantung pada musim.

b. Air permukaan

Air permukaan yaitu air yang terkumpul di atas permukaan tanah, biasanya dimanfaatkan sebagai sumber atau bahan baku untuk air bersih. Air waduk, sungai, dan danau termasuk dalam air permukaan. Dari segi kualitas, air permukaan lebih besar kemungkinan terkontaminasi oleh berbagai macam zat polutan yang berbahaya bagi kesehatan. Dilihat dari segi kuantitasnya, jumlah dan kapasitas air permukaan dapat dianggap aman dan sangat kecil kemungkinan timbul masalah untuk penyediaan air bersih.

c. Air tanah

Air tanah yaitu air yang ada di dalam rongga-rongga pada lapisan tanah.

Air tanah terbagi menjadi 2 jenis, yaitu :

- Air tanah dangkal, air tanah bebas yang terdapat dalam tanah dengan kedalaman muka air kurang atau sama dengan dua puluh meter. Air tanah dangkal merupakan sumber air yang dapat dimanfaatkan dengan cara membuat sumur sampai kedalaman yang sudah disebutkan. Cara pengambilan air tanah dangkal umumnya dengan pembuatan sumur gali dan banyak dimanfaatkan oleh masyarakat.
- Air tanah dalam, air tanah yang terdapat di dalam tanah dengan kedalaman muka air lebih dari dua puluh meter atau air tanah yang

terdapat di dalam akifer tertekan dimana akifer ini berada pada kedalaman lebih dari dua puluh meter.

2. Unit Produksi

Unit produksi adalah sarana dan prasarana yang dapat digunakan untuk mengolah air baku menjadi air minum melalui proses fisik, kimiawi dan/atau biologi, meliputi bangunan pengolahan dan perlengkapannya, perangkat operasional, alat pengukuran dan peralatan pemantauan, serta bangunan penampungan air minum.

3. Unit Distribusi

Unit distribusi adalah sarana untuk mengalirkan air minum dari pipa transmisi air minum sampai unit pelayanan.

4. Unit Pelayanan

Unit pelayanan adalah sarana untuk mengambil air minum langsung oleh masyarakat. Pengoperasian unit pelayanan meliputi kegiatan pelayanan untuk domestik yaitu sambungan rumah, sambungan halaman, hidran umum dan terminal air, dan nondomestik yaitu industri kecil, industri besar, restoran, hotel, perkantoran, rumah sakit, dan hidran kebakaran.

Jumlah Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air direncanakan sesuai dengan jumlah sumber air baku dan jumlah penduduk yang menempati daerah tersebut. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18 Tahun 2007, kategori wilayah sebagai acuan untuk menentukan jumlah kebutuhan air bersih sesuai jumlah penduduk dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel Error! No text of specified style in document..1 Kategori Wilayah

KATEGORI WILAYAH			
No	Kategori Wilayah	Jumlah Penduduk (jiwa)	Jumlah Rumah (buah)
1	Kota (I)	> 1.000.000	>200.000
2	Metropolitan (II)	500.000 – 1.000.000	100.000 – 200.000
3	Kota Besar (III)	100.000 – 500.000	20.000 – 100.000
4	Kota Sedang (IV)	10.000 – 100.000	2.000 – 20.000
5	Desa (V)	3.000 – 10.000	600 – 2.000

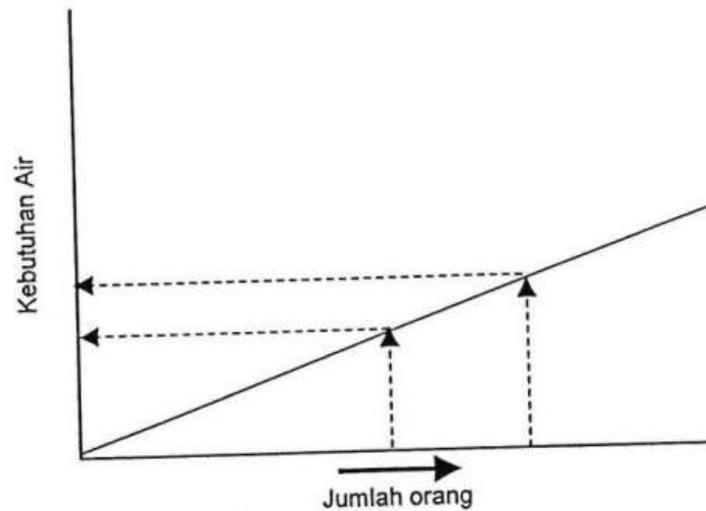
Sumber : PERMENPU No. 18 , 2007

Kebutuhan air akan dikategorikan dalam kebutuhan air domestik dan non domestik. Kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air yang digunakan untuk keperluan rumah tangga. Sedangkan kebutuhan air non domestik digunakan untuk kebutuhan komersil.

1. Kebutuhan Air Domestik

Standar penyediaan air domestik ditentukan oleh jumlah konsumen domestik yang dapat diketahui dari data penduduk yang ada. Standar penyediaan kebutuhan domestik ini meliputi minum, mandi, masak, dan lain-lain. Kecenderungan meningkatnya kebutuhan dasar air ditentukan oleh kebiasaan pola hidup masyarakat setempat dan didukung oleh kondisi sosial ekonomi.

Kebutuhan air pada masa yang akan datang memerlukan 2 faktor, antara lain kita perlu mengetahui jumlah penduduk pada saat ini sebagai dasar untuk menghitung jumlah penduduk pada masa yang akan datang masa yang akan datang, dan yang kedua yaitu persentase kenaikan jumlah penduduk. Adanya data tersebut maka kita dapat menghitung/memperkirakan jumlah penduduk pada masa yang akan datang, sehingga kita dapat mengetahui kebutuhan air pada masa yang akan datang. Semakin banyak jumlah orang, semakin banyak pula kebutuhan air. Sebagai contoh pengaruh jumlah penduduk terhadap jumlah kebutuhan air dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar **Error! No text of specified style in document.**1 Grafik Kebutuhan Air Domestik

Untuk mengetahui kriteria perencanaan air bersih pada tiap-tiap kategori dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini :

Tabel **Error! No text of specified style in document.**2 Kriteria Perencanaan Air Bersih

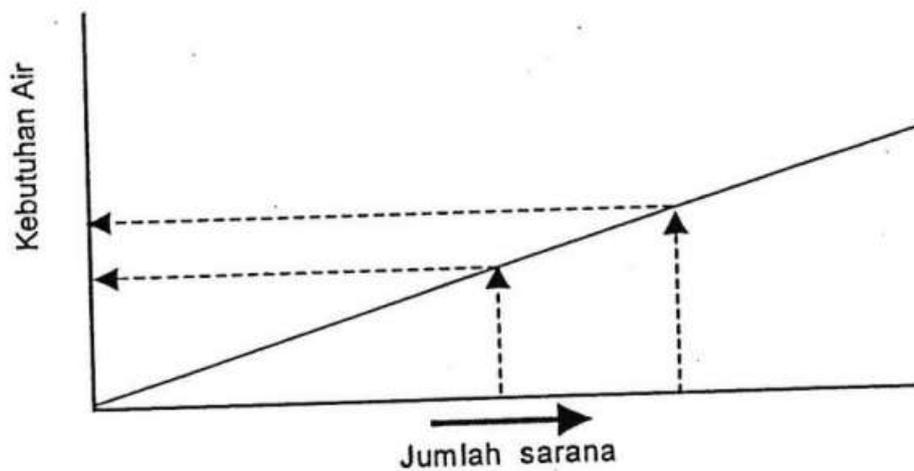
KRITERIA PERENCANAAN AIR BERSIH					
URAIAN	KATEGORI KOTA BERDASARKAN JUMLAH PENDUDUK (JIWA)				
	> 1.000.000	500.000 s/d 1.000.000	100.000 s/d 500.000	20.000 s/d 100.000	< 20.000
	Kota Metropolitan	Kota Besar	Kota Sedang	Kota Kecil	Desa
1	2	3	4	5	6
Konsumsi Unit Sambungan (SR) (lt/org/hari)	> 150	150 – 120	90 – 120	80 – 120	60 – 80
Konsumsi Unit Hidran (HU) (lt/org/hari)	20 – 40	20 – 40	20 – 40	20 – 40	20 – 40
Konsumsi unit non domestik					
Niaga kecil (lt/unit/hari)	600 – 900	600 – 900		600	
Niaga besar (lt/unit/hari)	1000 – 5000	1000–5000		1500	
Industri besar (lt/det/hari)	0.2 – 0.8	0.2 – 0.8		0.2 – 0.8	
Pariwisata (lt/det/hari)	0.1 – 0.3	0.1 – 0.3		0.1 – 0.3	
Kehilangan air (%)	20 – 30	20 – 30	20 – 30	20 – 30	20 – 30
Faktor hari maksimum	1.15 – 1.25 * harian	1.15 – 1.25 * harian	1.15 – 1.25 * harian	1.15 – 1.25 * harian	1.15 – 1.25 * harian
Factor jam puncak	1.75 – 2.0 * hari maks	1.75 – 2.0 * hari maks	1.75 – 2.0 * hari maks	1.75 * hari maks	1.75 * hari maks

KRITERIA PERENCANAAN AIR BERSIH					
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
1	2	3	4	5	6
Jumlah jiwa perSR (jiwa)	5	5	5	5	5
Jumlah jiwa perHu (jiwa)	100	100	100	100	100
Sisa tekan di penyediaan distribusi (meter)	10	10	10	10	10
Jam operasi	24	24	24	24	24
Volume reservoir (% max day demand)	15 – 25	15 – 25	15 – 25	15 – 25	15 – 25
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

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Pekerjaan Umum, 1996

2. Kebutuhan Air Non Domestik

Standar penyediaan air non domestik ditentukan oleh banyaknya konsumen non domestik yang meliputi fasilitas seperti perkantoran, kesehatan, industri, komersial, umum, dan lainnya. Semakin banyak jumlah sarana yang membutuhkan air, kebutuhan air akan makin banyak pula. Grafik kebutuhan air non domestik dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**2 Grafik Kebutuhan Air Non Domestik

Konsumsi air non domestik terbagi menjadi beberapa kategori yaitu :

1. Kategori Umum

Meliputi tempat ibadah, rumah sakit, sekolah, terminal, kantor, dan lain sebagainya.

2. Kategori Komersil

Meliputi hotel, pasar, pertokoan, rumah makan, dan sebagainya.

3. Kategori Industri

Meliputi peternakan, industri, dan sebagainya.

Perkembangan kebutuhan air non domestik dapat diprediksi dengan syarat perlu diketahui rencana pengembangan kota serta aktifitasnya. Prediksi dapat juga didasarkan pada ekivalen penduduk apabila rencana pengembangan kota tidak diketahui, dimana konsumen non domestik dapat dihitung mengikuti perkembangan standar penyediaan air domestik. Kebutuhan air non domestik menurut kriteria perencanaan pada Dinas Pekerjaan Umum dapat dilihat pada Tabel 2.3, 2.4 dan 2.5 berikut ini.

Tabel Error! No text of specified style in document..3 Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kategori I, II, III, IV

KEBUTUHAN AIR NON DOMESTIK			
No	Sektor	Nilai	Satuan
1	Sekolah	10	liter/murid/hari
2	Rumah sakit	200	liter/bed/hari
3	Puskesmas	2000	liter/unit/hari
4	Masjid	3000	liter/unit/hari
5	Kantor	10	liter/pegawai/hari
6	Pasar	12000	liter/hektar/hari
7	Hotel	150	liter/bed/hari
8	Rumah makan	100	liter/tempat duduk/hari
9	Komplek militer	60	liter/orang/hari
10	Kawasan industri	0.2 – 0.8	liter/detik/hektar
11	Kawasan pariwisata	0.1 – 0.3	liter/detik/hektar

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Pekerjaan Umum, 1996

Tabel Error! No text of specified style in document..4 Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kategori V

KEBUTUHAN AIR NON DOMESTIK			
No	Sektor	Nilai	Satuan
1	Sekolah	5	liter/murid/hari
2	Rumah sakit	200	liter/bed/hari
3	Puskesmas	1200	liter/unit/hari
4	Masjid	3000	liter/unit/hari
5	Mushola	2000	liter/unit/hari
6	Pasar	12000	liter/hektar/hari
7	Komersial/industri	10	liter/hari

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Pekerjaan Umum, 1996

Tabel Error! No text of specified style in document..5 Kebutuhan Air Non Domestik Untuk Kategori Lain

KEBUTUHAN AIR NON DOMESTIK			
No	Sektor	Nilai	Satuan
1	Lapangan terbang	10	liter/orang/detik
2	Pelabuhan	50	liter/orang/detik
3	Stasiun KA dan terminal bus	10	liter/orang/detik
4	Kawasan industri	0.75	liter/detik/hektar

Sumber : Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Pekerjaan Umum, 1996

Hal lain yang harus diketahui yaitu jenis dan jumlah sarana yang akan datang atau dengan kata lain kita perlu mengetahui :

1. Jenis dan jumlah sarana yang ada saat ini, data ini diperlukan sebagai dasar untuk menghitung perkiraan jenis dan jumlah sarana pada masa yang akan datang.
2. Perkiraan perkembangan jenis dan jumlah sarana pada masa yang akan datang.

Fluktuasi Kebutuhan Air

Berdasarkan keadaan dari sumber air yang ada ataupun dari kegiatan masyarakat kebutuhan air akan terus menerus berfluktuasi. Fluktuasi disini berarti perubahan air minum yang dipengaruhi satu hal atau lainnya. Fluktuasi kebutuhan air dibagi menjadi tiga, diantaranya adalah :

1. Kebutuhan harian rata-rata

Kebutuhan harian rata-rata merupakan rata-rata pemakaian air dalam satu hari baik untuk kebutuhan domestik maupun non domestik. Di mana besarnya pemakaian air harian rata-rata ini diperoleh dari jumlah pemakaian air bersih selama satu tahun dibagi jumlah hari dalam satu tahun.

2. Kebutuhan harian maksimum

Kebutuhan harian maksimum merupakan kebutuhan air dalam satu hari yang terbesar dalam waktu kurun waktu satu tahun. Besarnya faktor hari maksimum ini dapat diperoleh dengan membandingkan antara kebutuhan hari maksimum dengan kebutuhan harian rata-rata. Faktor hari maksimum umumnya berkisar antara 1,1 – 1,3.

3. Kebutuhan pada jam puncak

Kebutuhan jam puncak merupakan kebutuhan air dalam satu jam yang terbesar dalam kurun waktu satu hari. Besarnya faktor jam puncak ini dapat diperoleh dengan membandingkan antara kebutuhan jam puncak dengan kebutuhan harian rata-rata. Faktor jam puncak umumnya berkisar antara 1,5 – 1,75 (Hadisoebroto dkk., 2007).

Besarnya faktor fluktuasi menurut Ditjen Ciptakarya Pekerjaan Umum, adalah seperti terlihat pada Tabel 2.6 berikut :

Tabel **Error! No text of specified style in document.**6 Fluktuasi Kebutuhan Air Bersih

FLUKTUASI KEBUTUHAN AIR BERSIH				
No	Kategori Kota	Jumlah Penduduk	Faktor Maksimum (f_m)	Faktor Puncak (f_g)
1	Kota (I)	> 1.000.000	1.1	1.5
2	Metropolitan (II)	500.000 – 1.000.000	1.1	1.5
3	Besar (III)	100.000 – 500.000	1.1	1.5
4	Sedang (IV)	20.000 – 100.000	1.1	1.5
5	Desa (V)	< 20.000	1.1	1.5

Sumber : Ditjen Cipta Karya Pekerjaan Umum, 1998

Analisis Kebutuhan Air Bersih

Kriteria untuk mengerjakan proyeksi kebutuhan air bersih PDAM Tirta Galuh Cabang Ciasaga mengacu pada PDAM Tirta Galuh Ciamis dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 tahun 2007 sebagai berikut :

1. Pemakaian Air

Berdasarkan acuan dari PDAM Tirta Galuh Ciamis, untuk pemakaian air itu sama dengan air bersih terjual :

= Air bersih terjual 2.1

2. Kehilangan Air

Kehilangan jumlah air ini disebabkan oleh banyak faktor yaitu sambungan pipa yang bocor, pipa yang retak, dan akibat kurang sempurnanya waktu pemasangan, dan lain-lain. Berdasarkan acuan dari PDAM Tirta Galuh Ciamis rumus kehilangan air sebagai berikut:

$$= \text{Distribusi air bersih} - \text{Air bersih terjual} \dots\dots\dots 2.2$$

3. Persentase Kehilangan Air

Berdasarkan acuan dari PDAM Tirta Galuh Ciamis, rumus presentase kehilangan air sebagai berikut:

$$= \frac{\text{Distribusi Air Bersih}}{\text{Kehilangan Air Bersih}} \times 100 \dots\dots\dots 2.3$$

4. Kebutuhan Air Rata-Rata

Kebutuhan air rata-rata merupakan kebutuhan air dipakai rata-rata setiap hari. Perhitungan kebutuhan air rata-rata berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 tahun 2007 sebagai berikut :

$$= \text{Air bersih terjual} \dots\dots\dots 2.4$$

5. Kebutuhan Air Maksimum

Kebutuhan air maksimum merupakan kebutuhan rata-rata air yang terpakai maksimum pada satu hari. Perhitungan kebutuhan air maksimum berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 tahun 2007 sebagai berikut

$$= 1,25 \times \text{Kebutuhan air rata-rata} \dots\dots\dots 2.5$$

6. Kebutuhan Air Jam Puncak

Kebutuhan air jam puncak merupakan kebutuhan air terpakai tertinggi yang terjadi pada jam tertentu setiap hari. Perhitungan kebutuhan air jam puncak

berdasarkan dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 tahun 2007 sebagai berikut :

=1,5 x Kebutuhan Air Rata-Rata 2.6

Proyeksi Jumlah Penduduk

Analisis kebutuhan air bersih pada masa yang akan datang, memerlukan beberapa kriteria sebagai dasar perencanaan. Tujuan dari pengajuan beberapa kriteria perencanaan adalah untuk mendapatkan suatu hasil perencanaan yang tepat dan terkondisi untuk suatu wilayah perencanaan.

Proyeksi jumlah penduduk adalah menentukan perkiraan jumlah penduduk pada beberapa tahun mendatang, sesuai dengan periode perencanaan yang diinginkan. Pada masa yang akan datang di suatu wilayah terdapat salah satu faktor yang sangat penting untuk merencanakan perkembangan penduduk, dikarenakan berkaitan berdasarkan permintaan air bersih untuk masa mendatang. Suatu kota/kabupaten terus meningkat kebutuhan air bersih setiap tahunnya didasari oleh aktivitas yang dilakukan dan melonjaknya jumlah penduduk.

Rumus-rumus perhitungan proyeksi jumlah penduduk (PERMENPU No. 18, 2007) antara lain adalah :

1. Metode Geometrik

Proyeksi dengan metoda ini dianggap bahwa perkembangan penduduk secara otomatis berganda dengan penambahan penduduk. Metoda ini tidak memperhatikan asanya suatu saat terjadi perkembangan menurun, disebabkan kepadatan penduduk mendekati maksimum. Metode ini banyak digunakan karena mudah dan mendekati kebenaran, dengan rumus:

$$P_n = P_0 (1 + r)^n \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana:

P_n = Jumlah penduduk pada tahun proyeksi (jiwa).

P_0 = Jumlah penduduk pada awal tahun dasar (jiwa).

r = Angka rata-rata pertumbuhan penduduk (%).

n = Selisih anantara tahun proyeksi dengan tahun dasar (tahun).

2. Metode Regresi Linier (*Least Square*)

Metoda ini juga dapat digunakan untuk daerah dengan perkembangan penduduk yang mempunyai kecenderungan garis linear meskipun perkembangan penduduk tidak selalu bertambah, dengan rumus :

$$Y = a + b . x \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana :

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n \sum (xy) - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Dengan :

y = Populasi dengan tahun ke x setelah tahun dasar

x = Tahun dihitung dari tahun dasar

a & b = Variabel data

3. Metode Aritmatik

Pertambahan dari pertumbuhan penduduk secara konstan merupakan variasi yang diberikan pada metode ini (Triadmodjo, 2014). Dengan rumus:

$$P_n = P_0 e^{r \cdot n} \dots\dots\dots 2.9$$

Dimana :

- P_n = Jumlah penduduk setelah n tahun ke depan (jiwa).
- P_0 = Jumlah penduduk pada tahun awal (jiwa).
- r = Angka rata-rata pertumbuhan penduduk (%).
- n = Selisih anantara tahun proyeksi dengan tahun dasar (n).
- e = Bilangan eksponensial = 2,7182818.

Sistem Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih

Jaringan pipa merupakan faktor penting dalam sistem distribusi air bersih. Pada jaringan ini pipa-pipa saling dihubungkan sehingga dapat mengalirkan air dari beberapa rangkaian menuju keluaran tertentu. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007 jaringan pipa terdiri atas jaringan pipa transmisi dan jaringan pipa distribusi.

1. Jaringan Pipa Transmisi

Jaringan pipa transmisi air bersih adalah sistem perpipaan dari bangunan pengambilan (*intake*) atau pengolahan air bersih ke bangunan reservoir atau jaringan pipa distribusi. Jaringan perpipaan ini terbagi menjadi dua, yaitu jaringan pipa transmisi air baku dan jaringan pipa transmisi air minum. Kriteria teknis yang perlu diperhatikan dalam menentukan sistem transmisi perpipaan adalah :

1. Sisa tekanan minimum yang harus tersedia 10 mka (meter kolom air).
2. Tekanan maksimum yang diperbolehkan yaitu 80 mka.
3. Jika tekanan melebihi 80 mka, maka diperlukan bangunan pelepas tekanan.

Kriteria lain dari jaringan pipa transmisi telah ditentukan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 tahun 2007. Kriteria tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.7 di bawah ini.

Tabel **Error! No text of specified style in document.**7 Kriteria Pipa Transmisi

KRITERIA PIPA TRANSMISI			
No	Uraian	Notasi	Kriteria
1	Debit Perencanaan	Q max	Kebutuhan air hari maksimum $Q_{max} = F_{max} \times Q_{rata-rata}$
2	Faktor hari maksimum	F.max	1,10 – 1,50
3	Jenis saluran	-	Pipa atau saluran terbuka*
4	Kecepatan aliran air dalam pipa a) Kecepatan minimum b) Kecepatan maksimum - Pipa PVC - Pipa DCIP	V min V.max V.max	0,3-0,6 m/det 3,0-4,5 m/det 6,0 m/det
5	Tekanan air dalam pipa a) Tekanan minimum b) Tekanan maksimum - Pipa PVC - Pipa DCIP - Pipa PE 100 - Pipa PE 80	H min H maks H maks H maks H maks	1 atm 6-8 atm 10 atm 12.4 MPa 9.0 MPa

Sumber: PERMENPU No. 18, 2007

2. Jaringan Pipa Distribusi

Jaringan distribusi air bersih adalah pendistribusian atau pembagian air melalui sistem perpipaan dari bangunan pengolahan air (reservoir) ke daerah pelayanan. Jaringan pipa distribusi terbagi lagi atas jaringan distribusi utama (distribusi primer), jaringan distribusi pembawa (distribusi sekunder) dan jaringan distribusi pembagi atau (distribusi tersier). Kriteria teknis yang perlu diperhatikan dalam perencanaan sistem distribusi air bersih adalah :

1. Daerah layanan dan jumlah penduduk serta fasilitas yang akan dilayani meliputi wilayah IKK (Ibukota Kota Kecamatan) atau wilayah kabupaten dan kotamadya.
2. Debit air yang harus disediakan untuk distribusi daerah pelayanan.
3. Kondisi topografi daerah layanan untuk menentukan pola jaringan dan sistem aliran yang sesuai.

Kriteria lain dari jaringan pipa distribusi telah ditentukan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 tahun 2007, dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel **Error! No text of specified style in document.** 8 Kriteria Pipa Distribusi

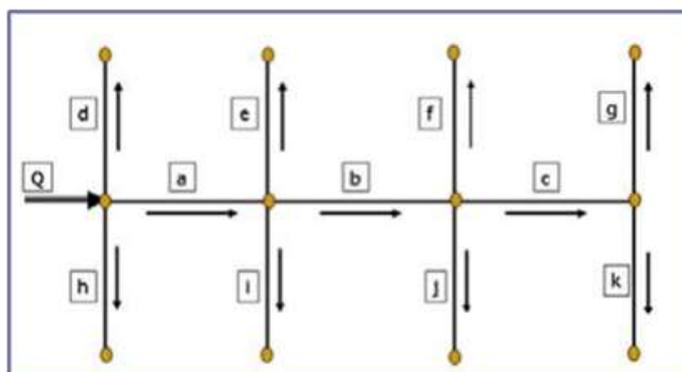
KRITERIA PIPA DISTRIBUSI			
No	Uraian	Notasi	Kriteria
1	Debit Perencanaan	Q puncak	Kebutuhan air jam puncak $Q_{\text{peak}} = F_{\text{peak}} \times Q_{\text{rata-rata}}$
2	Faktor jam puncak	F.puncak	1,15 – 3
3	Kecepatan aliran air dalam pipa a) Kecepatan minimum b) Kecepatan maksimum Pipa PVC atau ACP Pipa baja atau DCIP	V min V.max V.max	0,3 - 0,6 m/det 3,0 - 4,5 m/det 6,0 m/det
5	Tekanan air dalam pipa a) Tekanan minimum b) Tekanan maksimum - Pipa PVC atau ACP - Pipa baja atau DCIP - Pipa PE 100 - Pipa PE 80	h min h max h max h max h max	(0,5 - 1,0) atm, pada titik jangkauan pelayanan terjauh. 6 - 8 atm 10 atm 12.4 MPa 9.0 MPa

Sumber: PERMENPU No. 18, 2007

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007 ada dua sistem jaringan pipa distribusi yang bisa diterapkan di PDAM, yaitu :

1. Jaringan pipa distribusi sistem cabang (*branch*)

Jaringan pipa distribusi sistem cabang merupakan sistem mirip cabang pohon. Sistem perpipaan *branch* memiliki akhir atau ujung. Tapping untuk suplai ke bangunan dapat diperoleh dari cabang utama kecil (*sub-main*), yang dihubungkan oleh pipa main (*secondary feeders*). Pipa main dihubungkan ke pipa utama (*trunk lines/primary feeders*). Kecepatan aliran dalam perpipaan cabang selalu sama.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**3 Jaringan Pipa Distribusi Sistem Cabang

Jaringan pipa distribusi dengan sistem cabang biasanya digunakan pada daerah dengan sifat-sifat perkembangan kota yang bentuknya memanjang, sarana jaringan jalan induk saling berhubungan, dan keadaan topografi dengan kemiringan medan menuju ke satu arah. Keuntungan dan kerugian dalam penggunaan sistem cabang bisa dilihat pada Tabel 2.9 di bawah ini.

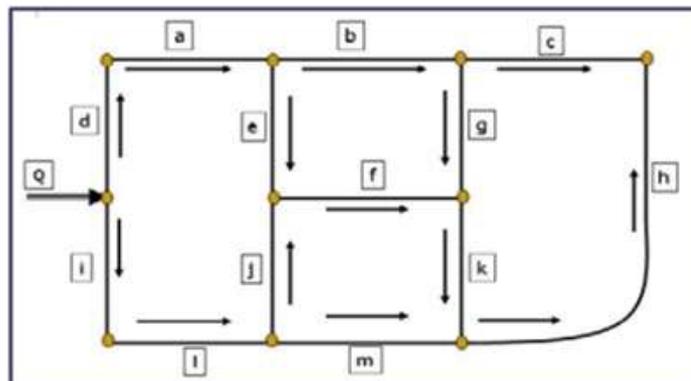
Tabel **Error! No text of specified style in document.**9 Keuntungan dan Kerugian Jaringan Sistem Cabang

KEUNTUNGAN DAN KERUGIAN SISTEM CABANG	
Keuntungan	Kerugian
Pendistribusian sangat sederhana	Endapan dapat berkumpul karena aliran diam bila flushing tidak

	dilakukan, sehingga dapat menimbulkan bau dan rasa
Perencanaan pipa mudah	Bila ada bagian yang diperbaiki, bagian awalnya tidak akan mendapat air
Ukuran pipa merupakan ukuran yang ekonomis	Tekanan berkurang bila area pelayanan bertambah

2. Jaringan pipa distribusi sistem tertutup (*loop*)

Sistem tertutup ini, pipa induk distribusi saling berhubungan satu dengan yang lain membentuk jaringan melingkar (*loop*) sehingga pada pipa induk tidak ada titik mati dan air akan mengalir ke suatu titik yang dapat melalui beberapa arah dengan tekanan yang relatif stabil.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**4 Jaringan Pipa Distribusi Sistem Tertutup

Sistem jaringan tertutup ini diterapkan pada daerah dengan jaringan jalan yang saling berhubungan, daerah yang perkembangan kotanya cenderung mengarah ke segala titik, dan keadaan topografi yang relatif tidak datar. Keuntungan dan kerugian dalam penggunaan sistem tertutup bisa dilihat pada Tabel 2.10 di bawah ini.

Tabel **Error! No text of specified style in document.**10 Keuntungan dan Kerugian Sistem Jaringan Tertutup

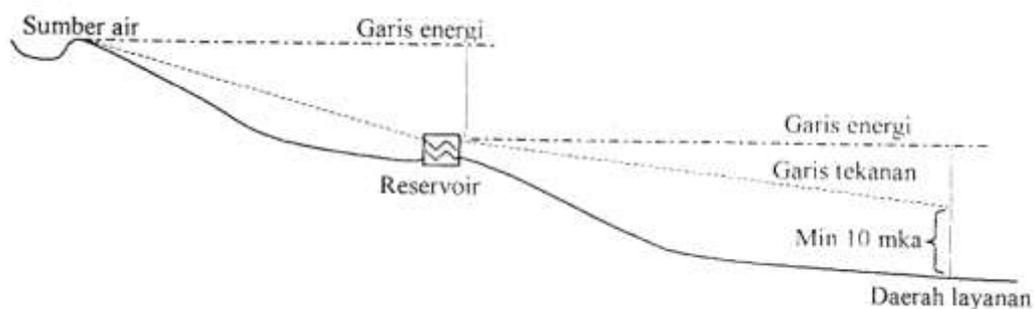
KEUNTUNGAN DAN KERUGIAN SISTEM TERTUTUP	
Keuntungan	Kerugian

Aliran air mengalir bebas, tidak ada aliran diam	Perhitungan perpipaan lebih kompleks
Perbaikan pipa tidak akan menyebabkan bagian lain tidak terbagi air, karena ada aliran dari arah lain	Diperlukan lebih banyak pipa serta material lainnya
Pengaruh karena variasi/fluktuasi pemakaian air dapat dikurangi	Penggunaan pipa yang relatif lebih banyak

Sistem Pengaliran Air Bersih

Sistem distribusi air bersih sangat tergantung dari letak topografi, lokasi sumber dan pertimbangan lainnya. Menurut *Howard S Peavy et.al* (1985, Bab 6 hal. 324-326), sistem distribusi itu sendiri ada beberapa metode antara lain:

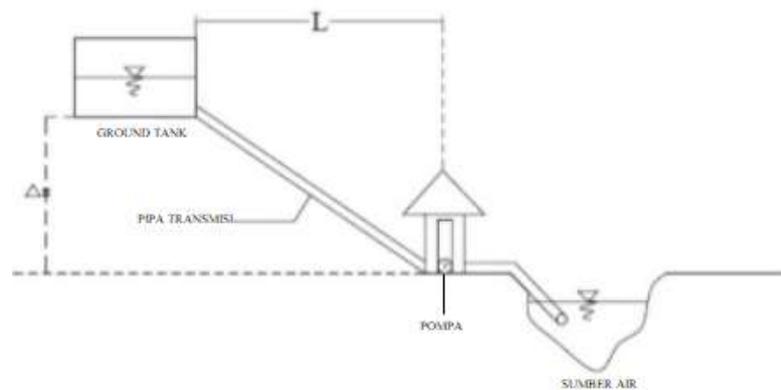
1. Cara Gravitasi



Gambar **Error! No text of specified style in document.**5 Distribusi Aliran Air dengan Cara Gravitasi

Cara ini digunakan apabila elevasi sumber air mempunyai perbedaan yang cukup besar dibandingkan dengan daerah pelayanan, sehingga tekanan yang diperlukan dapat dipertahankan. Cara ini dianggap cukup ekonomis, karena hanya memanfaatkan beda ketinggian lokasi.

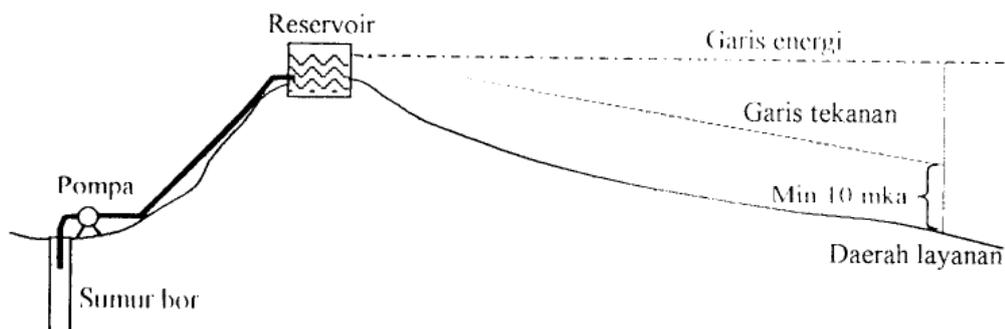
2. Cara Pemompaan



Gambar **Error! No text of specified style in document.**6 Distribusi Aliran Air dengan Cara Pemompaan

Cara ini menggunakan pompa untuk meningkatkan tekanan yang diperlukan untuk mendistribusikan air dari reservoir ke konsumen. Sistem ini digunakan jika elevasi antara sumber air atau instalasi pengolahan dan daerah pelayanan tidak dapat memberikan tekanan yang cukup akibat kelandaian yang relatif besar.

3. Cara Gabungan



Gambar **Error! No text of specified style in document.**7

Sistem distribusi dengan reservoir sangat baik karena dapat melayani kebutuhan pada saat jam puncak, kebakaran, dan sisa volume air ini dapat dipergunakan untuk beberapa keperluan.

Lokasi reservoir mempunyai arti penting untuk mengatur tekanan dalam sistem distribusi. Lokasi yang ideal adalah pada pusat sistem distribusi yang memberikan keuntungan pada ukuran pipa. Bila topografi memungkinkan reservoir diatas permukaan tanah mengambil keuntungan dari perbedaan elevasi tanah.

Hidraulika Aliran Jaringan Pipa Air Bersih

Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran air dalam pipa yang diijinkan adalah 0,3 – 6 m/det, hal ini akan disesuaikan dengan kondisi topografi lahan maupun adanya penambahan tekanan dari aktivitas pemompaan. Kecepatan tidak boleh terlalu kecil sebab dapat menyebabkan endapan dalam pipa tidak terdorong, selain itu juga diameter pipa menjadi berkurang karena adanya. Sebaliknya, jika kecepatan aliran terlalu tinggi maka akan menambah nilai *headloss* yang berakibat elevasi *reservoir* harus tinggi. Untuk menghitung kecepatan digunakan rumus sebagai berikut :

$$Q = A.V \dots\dots\dots 2.11$$

$$Q = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot V \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana :

Q = Debit aliran (m³/det)

V = Kecepatan aliran (m/det)

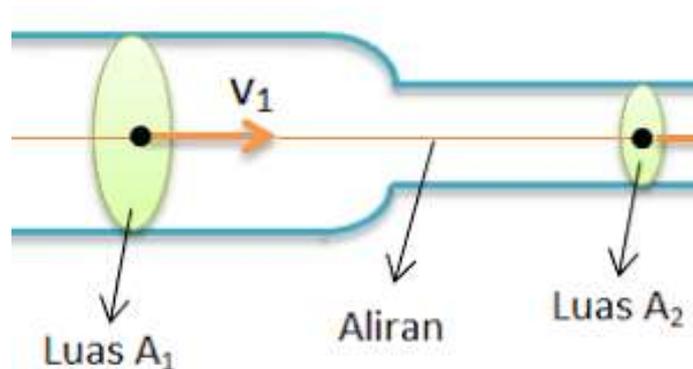
A = Luas basah (m²)

D = Diameter pipa (m)

Hukum Kontinuitas

Secara sederhana, hukum kontinuitas yaitu debit masuk di dalam penampang sama dengan debit keluar. Lebih jelasnya, hukum kontinuitas aliran zat cair adalah perubahan volume karena pengaruh tekanan mengalir secara kontinu melewati saluran atau pipa, dengan tampang aliran yang tidak konstan maupun yang konstan, mengakibatkan volume zat cair yang melalui tiap satuan waktu sama pada semua tampang.

Menurut Triatmodjo (1995 : 116) apabila zat cair tak kompresibel mengalir secara kontinyu melalui pipa atau saluran, dengan tampang aliran konstan ataupun tidak konstan maka volume cairan yang lewat tiap satuan waktu adalah sama di semua.



Gambar **Error! No text of specified style in document.**8 Aliran dengan Penampang Pipa yang Berbeda

$$Q_{in} = Q_{out}$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \dots\dots\dots 2.13$$

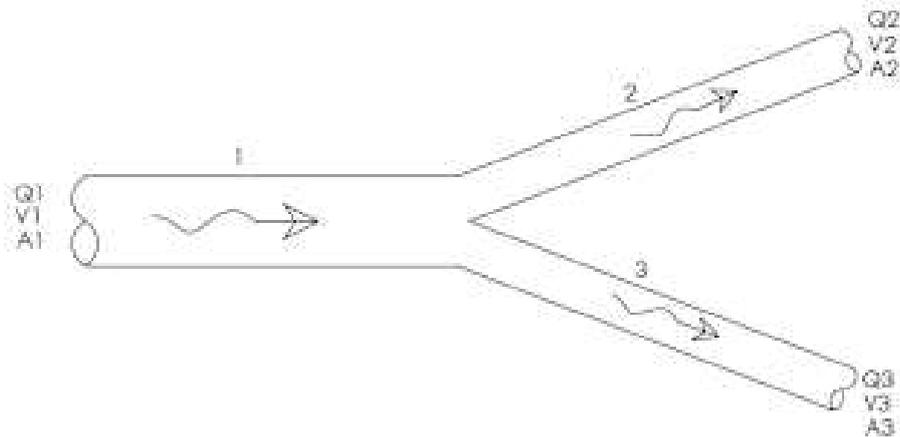
Dimana :

Q = Debit aliran (m³/det)

A = Luas penampang (m²)

V = Kecepatan aliran (m/det)

Pada aliran percabangan pipa juga berlaku hukum kontinuitas. Debit yang masuk pada suatu pipa sama dengan debit yang keluar pipa, bisa diilustrasikan pada gambar sebagai berikut:



Gambar **Error! No text of specified style in document.**9 Persamaan Kontinuitas pada Pipa Bercabang

Sedangkan hukum kontinuitas pada pipa bercabang dapat diuraikan sebagai berikut (Triatmodjo, 1996 : 137) :

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

Atau

$$A_1 \cdot V_1 = (A_2 \cdot V_2) + (A_3 \cdot V_3) \dots\dots\dots 2.14$$

Dimana :

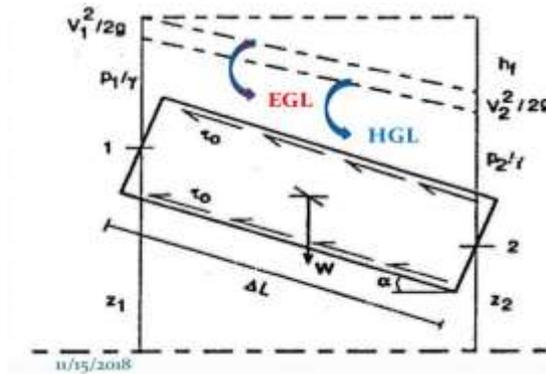
Q_1, Q_2, Q_3 = Debit pada potongan 1, 2 dan 3 (m^3/det)

V_1, V_2, V_3 = Kecepatan pada potongan 1, 2 dan 3 (m/det)

A_1, A_2, A_3 = Luas penampang pada potongan 1, 2 dan 3 (m^2)

Persamaan Bernoulli

Menurut Bernoulli jumlah tinggi tempat, tinggi tekan dan tinggi kecepatan pada setiap titik dari aliran air selalu konstan.



Gambar **Error! No text of specified style in document.** 10 Persamaan Bernoulli

Rumus Bernoulli :

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + hf \dots\dots\dots 2.13$$

Dimana :

z = Tinggi datum (m)

P = Tinggi tekanan

V = Kecepatan rerata aliran dalam pipa (m/dtk)

g = Percepatan grafitasi (m/dtk²)

γ = Berat jenis fluida

Kehilangan tinggi tekanan terjadi pada suatu aliran fluida atau pipa. Kehilangan tinggi tekanan disebabkan adanya gesekan, ekspansi, belokan dan percabangan pada pipa.

Komponen Jaringan Distribusi Air Bersih

1. Pipa

Pipa merupakan komponen utama dalam jaringan perpipaan yang menghubungkan sumber air dengan pelanggan (Triatmadja, 2016). Pipa memiliki bentuk penampang lingkaran, dengan diameter dan komposisi pipa yang bermacam-macam. Ada banyak jenis-jenis pipa, namun yang umumnya dipakai untuk sistem jaringan distribusi air sebagai berikut :

▪ Pipa Bambu

Sesuai dengan namanya, pipa ini memanfaatkan bambu karena bentuk bambu yang sesuai dengan penampang pipa. Umumnya digunakan di daerah pelosok karena biasanya terdapat banyak bambu.

▪ Pipa PVC (*Poly Vinyl Chloride*)

Pipa ini merupakan pipa yang terbuat dari plastik dan dengan kombinasi vinil. Mempunyai karakter pipa yang tahan lama dan mudah perawatannya. Keuntungan pipa PVC adalah tidak berkarat, permukaan licin, elastisitas tinggi, ringan, tahan terhadap zat kimia mudah dibongkar. Kerugiannya tidak tahan panas, pipa yang mudah dibentuk sulit diubah, dan mudah.

▪ Pipa HDPE (*High Density Polyethylene*)

Pipa ini merupakan pipa dengan daya lentur yang tinggi. Dapat digunakan di daerah perbukitan, rawan gempa, dan daerah rawa. Kelebihan pipa ini adalah tahan terhadap retak, tahan terhadap bahan kimia, tahan karat, tahan segala cuaca, tahan abrasi dan sedimentasi, tidak beracun aman untuk air bersih, ringan, dan tahan terhadap suhu rendah.

- Pipa Baja

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

- Pipa Galvanis

Pipa galvanis adalah pipa air besi seng berlapis baja yang pemasangannya membutuhkan proses yang lebih rumit. Pasalnya, instalasi pipa ini membutuhkan akurasi yang lebih tinggi daripada pemasangan pipa kebanyakan yang pemotongannya lebih mudah dilakukan. Meskipun memiliki bahan yang aman untuk dipakai di dalam dan di luar tanah, memasang pengaman pada instalasi dalam tanah masihlah dianjurkan. Hal ini dilakukan untuk menambah ketahanan pipa galvanis.

2. Meter air

Meter air digunakan untuk mengetahui debit yang mengalir dalam pipa. Salah satu manfaat penggunaan meter air pada sistem jaringan distribusi penyediaan air bersih adalah untuk mengetahui jumlah air yang digunakan oleh konsumen.

3. Katup (*Valve*)

Katup (*valve*), berfungsi untuk mengatur besarnya pengaliran air dalam pipa, membuka/menutup aliran, dan untuk menanggulangi kelebihan tekanan atau kekurangan tekanan pada jaringan pipa. Katup biasanya dipasang pada ujung pipa tempat aliran air masuk ataupun aliran air keluar, setiap percabangan pada pipa, pipa *outlet* pompa, dan pipa penguras. Ada dua jenis katup, masing-masing memiliki fungsi yang berbeda yaitu:

- *Pressure Reducer Valve* (PRV) atau katup penurun tekanan

Katup penurun tekanan adalah alat pelindung yang dirancang secara strategis dan didukung oleh operator untuk melindungi peralatan dan sistem yang peka terhadap tekanan dari kerusakan ekstrem. Mengingat faktor ini, katup dirancang untuk membuka secara proporsional untuk menurunkan tekanan. Dikatakan bahwa tekanan secara bertahap akan terbuka jika terjadi peningkatan bertahap.

▪ *Pressure Sustaining Valve* (PSV) atau katup penstabil tekanan

Digunakan untuk mempertahankan tekanan yang ditetapkan pada titik khusus dalam jaringan pipa. PSV akan menutup apabila tekanan di hilir melebihi tekanan di hulu, dan akan terbuka penuh jika tekanan hilir lebih tinggi dari yang ditetapkan.

4. Tangki

Tangki adalah komponen dalam jaringan pipa yang berfungsi menyimpan air sementara yang elevasi muka airnya berubah-ubah akibat dari pengambilan dan pengisian air. Tangki dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007 sama dengan *reservoir*. Volume dan lokasi tangki air disesuaikan dengan kondisi daerah layanan sehingga kebutuhan air bersih dapat terpenuhi sepanjang waktu dan terdistribusi ke seluruh daerah pelayanan. Perhitungan volume tangki menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = T \cdot L \cdot P \dots\dots\dots 2.15$$

Dimana:

V = Volume tangki (m³)

T = Tinggi tangki (m)

L = Lebar tangki (m)

P = Panjang tangki (m)

Kriteria Jaringan Pipa Air Bersih

Analisis pada jaringan distribusi pipa air bersih harus memenuhi kriteria sesuai dengan standar yang ada. Adapun kriteria jaringan distribusi pipa air bersih ditampilkan pada Tabel 2.11 di bawah ini:

Tabel **Error! No text of specified style in document.** 11 Kriteria Jaringan Pipa

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

Sumber : PERMENPU No. 18, 2007

Kehilangan Tinggi Tekan Akibat Gesekan (h_f)

Fluida yang mengalir didalam pipa akan mengalami tegangan geser dan energi kecepatan pada seluruh medan karena adanya kekentalan energi. 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. Perhitungan kehilangan tinggi tekanan akibat gesekan salah satunya dapat dihitung dengan persamaan Hazen Williams.

Persamaan kehilangan energi sedikit lebih sederhana dibandingkan persamaan Darcy Wesbach karena koefisien kehilangan (C_{hw}) nya tidak berubah terhadap angka Reynold. Kerugian persamaan Hazen Williams adalah persamaan ini hanya dapat digunakan untuk air, tidak untuk fluida lainnya seperti minyak. Persamaannya Hazen Williams dapat ditulis sebagai berikut (Giles, 1977 dalam Triatmadja, 2016:233) :

$$Q = C_u \cdot C_{HW} \cdot d^{2,63} \cdot i^{0,54} \dots\dots\dots 2.16$$

dengan $C_u = 0,2785$ dan $i = \frac{h_f}{L}$, maka persamaan dapat ditulis sebagai :

$$Q = 0,2785 \cdot C_{HW} \cdot d^{2,63} \cdot \left(\frac{h_f}{L}\right)^{0,54} \dots\dots\dots 2.17$$

$$h_f = \frac{Q^{1,85}}{(0,2785 \times d^{2,63} \times C_{HW})^{1,85}} \times L \dots\dots\dots 2.18$$

Dimana :

C_{HW} = Koefisien Hazen Williams

i = Kemiringan atau *slope* garis tenaga (m/m)

Q = Debit aliran (m^3/s)

D = Diameter pipa (m)

h_f = Kehilangan tinggi tekanan karena gesekan sepanjang pipa (m)

L = Panjang Pipa (m).

WaterGEMS

Pengertian WaterGEMS

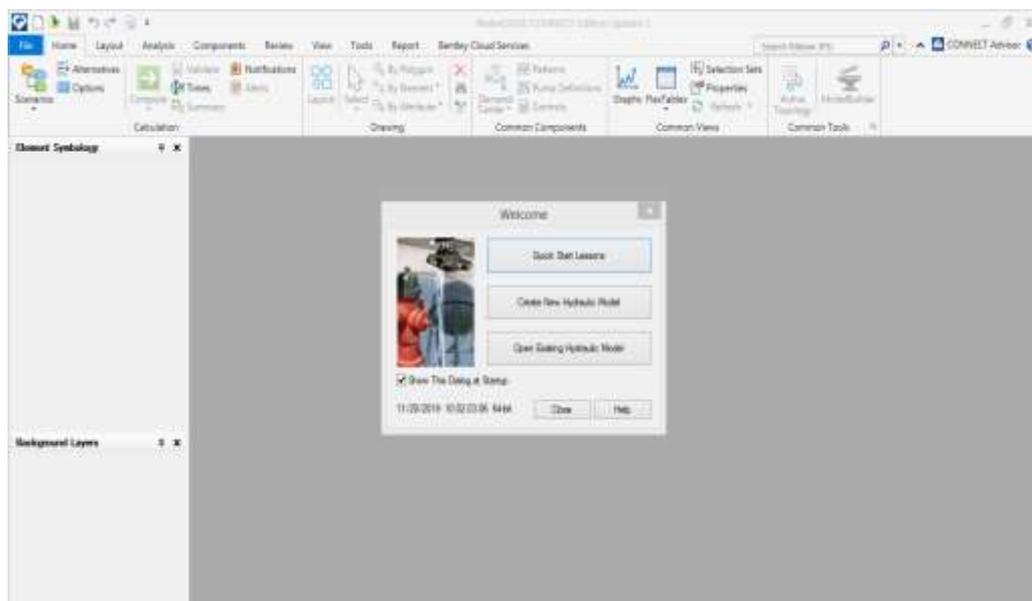
WaterGEMS adalah aplikasi permodelan hidrolis untuk sistem distribusi air bersih yang berlisensi di bawah perusahaan perangkat lunak yang berbasis di Amerika bernama *Bentley*. WaterGEMS dilengkapi dengan interoperabilitas canggih, pembuatan model geospasial, pengoptimalan jaringan, dan lain-lain. WaterGEMS juga menggunakan *interface* yang memudahkan pengguna untuk melakukan analisis, perancangan, pengoptimalan jaringan distribusi air bersih, dan lainnya seperti:

1. Menganalisis sistem jaringan distribusi air pada satu kondisi waktu (kondisi permanen)
2. Menganalisis tahapan-tahapan atau periodisasi simulasi pada sistem jaringan terhadap adanya kebutuhan air yang berfluktuatif menurut waktu (kondisi tidak permanen)
3. Menganalisis skenario perbandingan atau alternatif jaringan pada kondisi yang berlainan pada satu file kerja
4. Menganalisis kondisi jaringan pada saat kondisi ekstrim untuk keperluan pemadam kebakaran atau hydrant (fire flow analysis)
5. Menganalisis kualitas air pada sistem jaringan distribusi air baku
6. Menghitung konstruksi biaya dari sistem jaringan distribusi air baku yang dibuat.

Tahapan-tahapan Penggunaan *Software* WaterGEMS

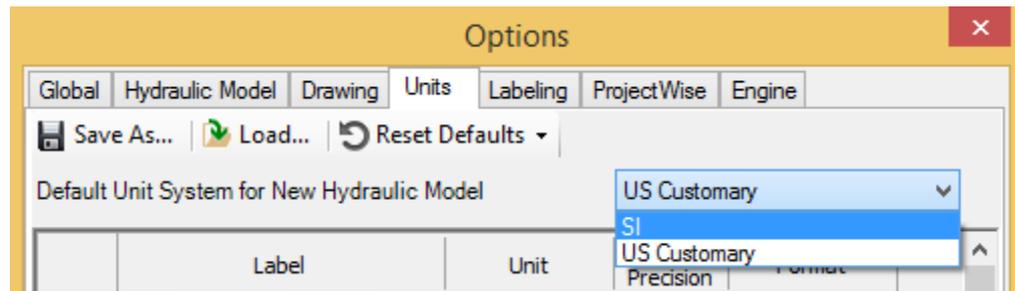
Membuat Lembar Kerja Baru

1. Buka *software* WaterGEMS. Aplikasi ini bisa ditemukan di *Start Menu* >> *Programs* >> Bentley >> WaterGEMS, atau klik dua kali di *icon* WaterGEMS pada *desktop*.
2. Akan muncul *dialog box* seperti di bawah ini.



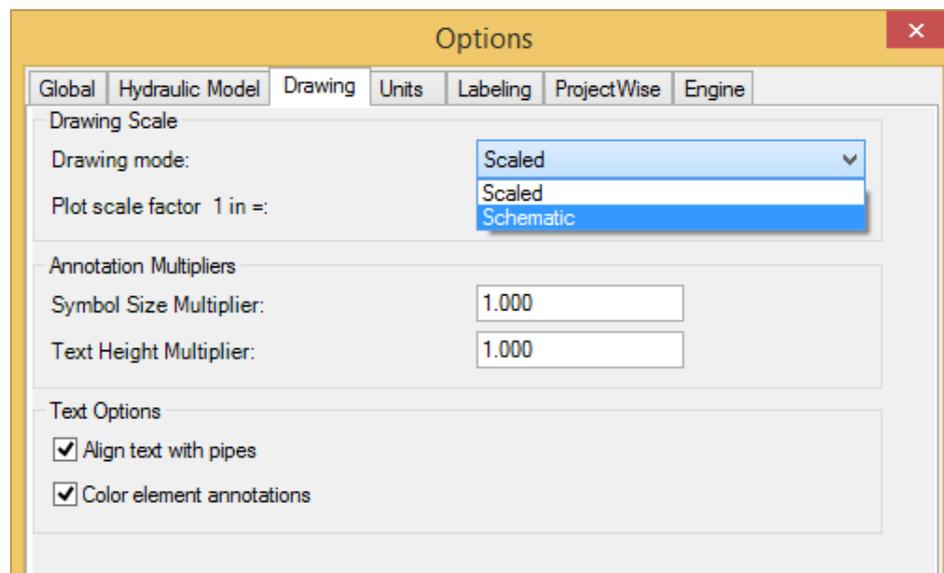
Gambar **Error! No text of specified style in document.** 11 *Welcome Dialog*

3. Klik Create New Project, akan muncul bidang gambar dengan nama untitled1.wtg
4. Sebelum memulai sebuah model, pilih satuan kerja yang akan digunakan. Klik Tools >> Options >> Units. Pilih apakah akan menggunakan Sistem Internasional Unit atau United State Unit. Untuk contoh pada modul ini, pilih satuan kerja Sistem International unit.



Gambar **Error! No text of specified style in document..12** Pengaturan Satuan (*units*) dalam WaterGEMS

5. Klik tab Drawing, anda dapat menentukan apakah akan menggunakan penggambaran dengan skala (*scaled*) atau manual (*schematic*). Penggunaan drawing scaled dapat dilakukan apabila tersedia peta jaringan dalam file AutoCad, sehingga anda tidak perlu melakukan input data panjang pipa. Namun apabila peta jaringan tidak tersedia, pilih drawing schematic, dan anda diharuskan melakukan input data panjang pipa.



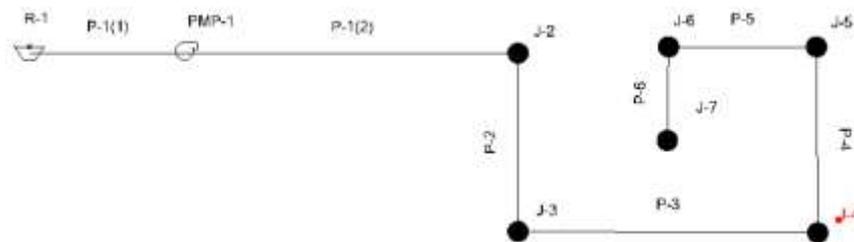
Gambar **Error! No text of specified style in document..13** Pengaturan Penggambaran (*Drawing*) dalam WaterGEMS

6. Klik OK.
7. Klik File > **Save As**. Untuk menyimpan dan memberi nama model yang akan dibuat. Pada *dialog box*, akan muncul folder WaterGEMS dengan

nama file Untitled1, ubah nama file sesuai dengan yang diinginkan kemudian simpan di folder yang anda inginkan, lalu klik Save.

Membuat *Layout Jaringan*

1. Pilih lambang pipa  dari *layout toolbar*.
2. Pilih lambang *reservoir*  dari *layout toolbar*.
3. Kemudian klik kiri pada bidang gambar untuk menempatkan *reservoir*.
4. Kemudian klik kiri pada lambang *pump*  untuk menempatkan *pump* dari *layout toolbar*.
5. Junction akan dengan otomatis termasuk ke dalam jaringan pipa pada tiap ujung pipa atau tiap sambungan antar pipa.



Gambar **Error! No text of specified style in document.** 14 *Layout Jaringan* dalam WaterGEMS

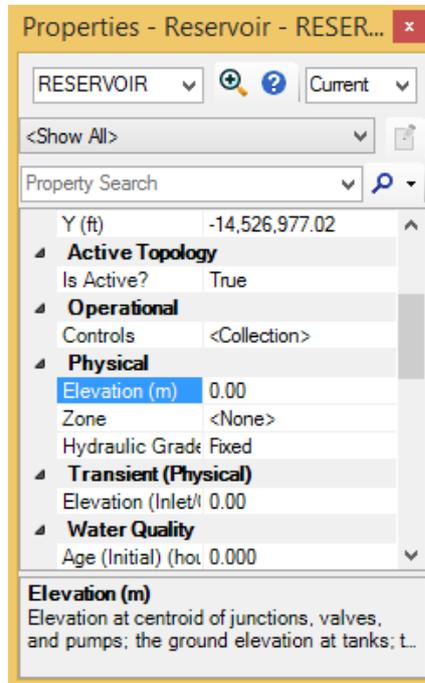
Melakukan Input Data

Ada 2 cara untuk melakukan input data:

1. Melalui *dialog box properties*, klik kiri 2 kali pada elemen yang akan di input lalu akan muncul *dialog box properties*, kemudian input data yang diinginkan.

Input data *reservoir* :

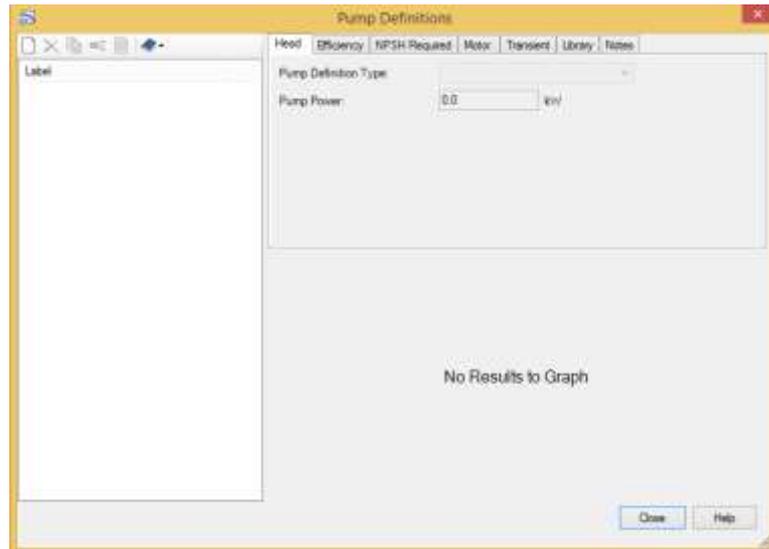
- Klik 2 kali pada elemen *reservoir*, anda akan melihat *dialog box* seperti di bawah.
- Masukkan angka elevasi pada kolom *elevation*.



Gambar **Error! No text of specified style in document..15** *Dialog Box* pada Elemen *Reservoir*

Input data pompa :

- Klik 2 kali pada elemen pompa, lalu anda akan melihat *dialog box* seperti di bawah.
- Masukkan angka elevasi pada kolom *elevation*.
- Klik pada kolom isian *Pump Definition*, dan pilih *Edit Pump Definition*, akan keluar *dialog box pump definition* seperti dibawah ini.



Gambar **Error! No text of specified style in document..16** Dialog Box Pump Definition

- Klik New  untuk membuat definisi/karakteristik pompa (*pump definition*)
- Klik kolom isian *pump definition type*, pilih *standard* (1 point).
Kemudian isikan data sesuai yang dibutuhkan.
- Pindahkan isian *Pump Definition* dari <None> menjadi *Pump*

Definition-1

Pump Definition	<None>
Pump Station	Edit Pump Definitions...
Is Variable Spec	Pump Definition - 1

- Tutup *dialog box*
- Pastikan satuan yang anda masukkan sudah benar, anda dapat mengubah satuan kerja dengan cara klik kanan pada kolom yang akan diubah, pilih *unit and formatting*, kemudian ubah satuan sesuai dengan yang anda inginkan .

Input data Junction :

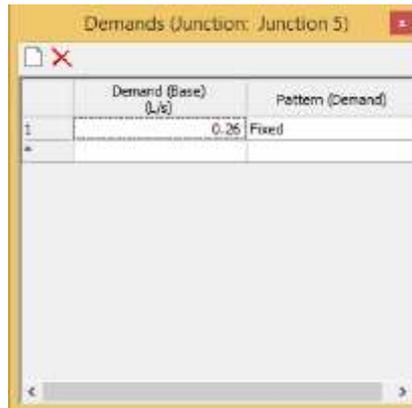
- Klik pada salah satu elemen *junction*
- Input data minimal yang harus diisi pada *junction* adalah *elevation* dan *Demand Collection*.

- Untuk melakukan *input* data *elevation*, klik pada kolom isian *elevation*, kemudian masukkan data yang diinginkan.
- Untuk melakukan *input* data *demand collection*, klik kolom isian *demand collection* (sebelumnya tertulis *collection: 0 items*).
- Klik *new*, kemudian isikan data yang *demand (base)* yang diinginkan.



Gambar **Error! No text of specified style in document..17** Dialog Box pada Elemen Junction

- Untuk melakukan *input* data *demand collection* klik  pada kolom isian *demand collection* (sebelumnya tertulis *collection: 0 items*).
- Klik *new* , kemudian isikan data *demand (base)* yang diinginkan.



Gambar **Error! No text of specified style in document.** 18 *Input Data Demand Collection*

- **Perhatikan** satuan yang anda gunakan
- Masukkan data kebutuhan air berdasarkan hasil perhitungan pada tiap-tiap *junction*.
- Tutup *dialog box junction properties*.

Input data Pipa :

- Klik 2 kali pada salah satu elemen pipa, akan muncul *dialog box Pipe Properties*
- Input data minimal yang harus diisikan pada pipa adalah diameter, jenis material, Koefisien Hazen Williams (C) dan panjang pipa.
- Klik pada kolom isian diameter untuk input data diameter pipa.
- Klik pada kolom isian material untuk input jenis pipa.
- Klik pada kolom isian Hazen Williams (C) untuk mengisi koefisien kekasaran pipa
- Klik pada *Has User Defined Lenght?* Kemudian ubah dari *false* menjadi *true*, input data panjang pipa pada baris di bawahnya/*lenght (User Defined)*.



Gambar **Error! No text of specified style in document..19** Dialog Box pada Elemen Pipe

- Input data berikut pada pipa yang telah anda buat.
- Apabila anda memiliki peta AutoCad yang terskala, maka input data panjang pipa tidak perlu dilakukan, pilih *false* pada kolom isian *Has User Defined Length?*, maka WaterGEMS akan menghitung panjang pipa secara otomatis mengikuti gambar yang anda buat.
- **Perhatikan** satuan yang anda gunakan

Untuk input data pada elemen yang sama, anda tidak perlu menutup *dialog box*, klik pada element berikutnya, kemudian lakukan input data pada *dialog box* yang sama

