

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

| No | Judul Penelitian – Nama Penulis | Hasil Penelitian Terdahulu | Perbedaan dengan Penelitian Terkini |
|----|---|---|---|
| 1 | Perencanaan Distribusi Air Bersih Kecamatan Loura Kabupaten Sumba Barat Daya – NTT (Skripsi Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang) - (Natara, 2018) | Hasil simulasi dengan program <i>WaterCad</i> v.4.5 untuk kondisi pengembangan tahun 2021 pukul 07.00 dari satu alternatif di dapatkan tekanan sisa terkecil sebesar 11 mH ₂ O dan tekanan sisa terbesar sebesar 16 mH ₂ O. Sedangkan untuk Headloss Gradient terkecil pada semua pipa sebesar 0,010 m/km dan terbesar sebesar 1.657 m/km. Untuk rencana pengembangan dilakukan hingga tahun 2031. | Penelitian terdahulu melakukan proyeksi rencana pengembangan jaringan perpipaan dari tahun 2021 hingga tahun 2022. Sedangkan penelitian terkini melakukan analisis ulang terhadap jaringan perpipaan yang sama / eksisting pada tahun 2021. |
| 2 | Simulasi Tekanan Menggunakan Program <i>Watercad</i> Pada Sistem Pendistribusian Air Bersih di PDAM Tirta Musi Palembang (Jurnal Ilmiah <i>Bering's</i>) - (Yunanda & Kurniawan, 2018) | Hasil analisis kebutuhan air bersih tahun 2018 adalah 33,027 lt/det. Proyeksi pertumbuhan pelanggan jangka waktu 5 tahun ke depan (tahun 2022) adalah 2.362 sambungan langgan, jumlah kebutuhan air bersih sebesar 56,174 lt/det. Kehilangan tinggi tekan (hgs) jaringan pipa distribusi tahun 2017 yang terbesar berada pada blok 7 dengan tinggi kehilangan tekanan 1,0825 m atau 0,10825 atm. Hasil simulasi tekanan jaringan pipa menggunakan program <i>WaterCAD</i> didapatkan tekanan sebesar 0,7546 atm pada titik junction J-33 blok 5 (Lr.Tirta Mulyo) sampai 1,5149 atm pada titik junction J-68 blok 7 (Lr.Bugis) | Penelitian terdahulu melakukan proyeksi kebutuhan air domestik untuk 5 tahun ke depan (dari 2018 – 2022), sedangkan penelitian terkini menghitung kebutuhan air dari permintaan tiap-tiap perusahaan industri (non-domestik) yang ada / eksisting tahun 2020 - 2021 serta mengidentifikasi fluktuasi penggunaan air perusahaan industri tersebut. |

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu Lanjutan

| No | Judul Penelitian | Hasil Penelitian Terdahulu | Perbedaan dengan Penelitian Terkini |
|----|--|---|--|
| 3 | Studi Perencanaan Sistem Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih dengan <i>Software Watercad</i> di Perumahan <i>Green Orchid Residence</i> Kota Malang (Jurnal Teknik Pengairan Konsentrasi Sistem Informasi Sumber Daya Air Universitas Brawijaya Malang) - (Rusardi, 2018) | Hasil simulasi menunjukkan kondisi hidrolis, yaitu kecepatan antara 0,1 – 2,5 m/det, headloss gradient antara 0,5 – 15,0 m/km dan tekanan antara 0,5 – 8,0 atm. Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk alternatif 1 sebesar Rp 688.494.800,00, alternatif 2 sebesar Rp 729.885.600,00, alternatif 3 sebesar Rp 823.588.200,00, dan alternatif 4 sebesar Rp 974.403.900,00. | Penelitian terdahulu melakukan proyeksi kebutuhan air domestik untuk 3 tahun ke depan (dari 2016 – 2018) dengan kondisi wilayah studi masih mengalami proses pengembangan di tahun 2016 dan rencana selesai di tahun 2018. Untuk penelitian terkini, data kebutuhan air menggunakan permintaan air dari perusahaan industri (non domestik) eksisting tahun 2020 – 2021 tanpa ada pengembangan besar di tahun - tahun tersebut. |
| 4 | Perencanaan Sistem Distribusi Air Minum Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember (Jurnal Teknik ITS Vol. 8, No. 2, 2019) - (Novita & Marsono, 2019) | Dalam perencanaan ini digunakan proyeksi penduduk dengan metode geometri untuk memprediksi kebutuhan air pada tahun 2028. Unit pemakaian air masyarakat di Kecamatan Arjasa sebesar 100 L/orang/hari. Hasil perencanaan dianalisis menggunakan software WaterCAD v8i. Hasil analisis hidrolis menunjukkan bahwa diameter pipa yang digunakan berkisar antara 63mm hingga 400mm, sisa tekan di semua node diatas 11 meter. Dan kecepatan aliran berkisar antara 0,41 m/dtk hingga 0,98 m/dtk. Nilai Net Present Value perencanaan ini sebesar Rp 1.788.020.713,- dan nilai Benefit Cost Ratio sebesar 1,09. Sehingga layak secara finansial. | Penelitian terdahulu melakukan proyeksi kebutuhan air domestik dari tahun 2018 hingga tahun 2028) serta melakukan analisis kelayakan finansial menggunakan metode Net Present Value (NPV) dan Benefit Cost Ratio (BCR). Untuk penelitian terkini, data kebutuhan air menggunakan permintaan air dari perusahaan industri (non domestik) eksisting tahun 2020 – 2021 sedangkan analisis yang dilakukan adalah analisis teknis jaringan perpipaan. |

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu Lanjutan

| No | Judul Penelitian | Hasil Penelitian Terdahulu | Perbedaan dengan Penelitian Terkini |
|----|--|---|---|
| 5 | <p>Model Simulasi Jaringan Pipa dan Penentuan Tarif Air Minum di Kecamatan Kepanjen Kabupaten Malang (Jurnal Pangripta, Vol. 2 No. 1, Maret 2019) - (Haribowo et al., 2019)</p> | <p>Dari hasil analisa diperoleh total kebutuhan air rata-rata yang dibutuhkan sebesar 17,90 lt/dt dan distribusi air bersih untuk 3 desa dapat terlayani 100% baik untuk kebutuhan rata rata maupun pada jam puncak. Rencana anggaran biaya total untuk 3 desa yaitu sebesar Rp. 2.970.769.637. Analisa Ekonomi pada tingkat suku bunga 9,75% didapatkan periode pengembalian selama 6 tahun dengan harga air Rp. 1500/m3</p> | <p>Penelitian terdahulu melakukan proyeksi kebutuhan air domestik dari tahun 2018 hingga 2037 dengan serta menghitung rencana anggaran biaya total serta analisa kelayakan ekonomi. Sedangkan Penelitian terkini melakukan perhitungan kebutuhan air non domestik menggunakan data permintaan dari industri tahun 2020 – 2021 serta menghitung penggunaan listrik pompa distribusi.</p> |
| 6 | <p>Analisis Jaringan Perpipaan Distribusi Air Bersih dengan Program Watercad Daerah Layanan Kotabaru Kecamatan Martapura Kabupaten Ogan Komering Ulu Timur (TEKNIKA: Jurnal Teknik VOL. 7 NO. 2 Oktober 2020) - (Rajela & Sahbar, 2020)</p> | <p>Hasil perhitungan kebutuhan air pada tahun 2035 adalah 110,87 lt/dtk, kebutuhan maksimum 121,96 lt/dtk, dan kebutuhan total pada jam puncak adalah 194,02 lt/dtk. Dari simulasi untuk pengembangan sistem jaringan distribusi air bersih didapatkan kondisi hidrolis debit 50 lt/dtk untuk beberapa daerah prioritas layanan di Kecamatan Martapura, khususnya Desa Kota Baru, dengan tekanan pompa 61,29 m dan direncanakan dengan menggunakan jaringan pipa HDPE diameter 6 Inc.</p> | <p>Penelitian terdahulu melakukan proyeksi kebutuhan air domestik dari tahun 2015 sampai dengan tahun 2035, sedangkan penelitian terkini menghitung kebutuhan air dari permintaan tiap-tiap perusahaan industri (non-domestik) yang ada / eksisting tahun 2020 – 2021.</p> |

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu Lanjutan

| No | Judul Penelitian | Hasil Penelitian Terdahulu | Perbedaan dengan Penelitian Terkini |
|----|---|---|--|
| 7 | <p>Evaluasi Sistem Penyediaan Air Bersih Menggunakan Software Watercad di Desa Batungsel Kecamatan Pupuan Kabupaten Tabanan (Jurnal Spektran Vol. 8, No. 1, Januari 2020) - (Yekti et al., 2020)</p> | <p>Dari hasil running program WaterCAD V8i didapat Proyeksi kebutuhan air bersih hingga tahun 2033 diperoleh hasil tekanan minimum 2,5 atm dan maksimum 6,3 atm, kecepatan minimum sebesar 0,01 m/detik dan maksimum 1,01 m/detik, dan Headloss gradient minimum sebesar 0,28 m/km dan maksimum sebesar 12,89 m/km. Nilai tekanan minimum didapat sebesar 6,4 atm dan nilai maksimum sebesar 11,5 atm, kecepatan air minimum sebesar 0,10 m/detik dan nilai maksimum sebesar 0,71 m/detik, dan Headloss gradient minimum sebesar 0,2 m/km dan maksimum sebesar 10,8 m/km.</p> | <p>Penelitian terdahulu melakukan proyeksi rencana pengembangan jaringan perpipaan dari tahun 2013 hingga tahun 2033. Sedangkan penelitian terkini melakukan analisis ulang terhadap jaringan perpipaan yang sama / eksisting pada tahun 2021.</p> |
| 8 | <p>Analisis Kapasitas Sistem Hidrolis Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Menggunakan Software Watercad V8i (Studi Kasus: PDAM Tirta Galuh Ciamis) (Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Volume 2, No. 1, Agustus 2020) - (Budiman et al., 2020)</p> | <p>Hasil perhitungan manual dan hasil analisis software WaterCAD V8i tahun 2020 yaitu kehilangan tinggi tekan maksimum 79,47402 m dan 79,2242, kehilangan tinggi tekan minimum 0,00001 m dan 0 m, serta total kehilangan tinggi tekan sebesar 1724,809 m dan 1718,414 m. Hasil perhitungan manual dan hasil analisis software WaterCAD V8i tahun 2024 yaitu kehilangan tinggi tekan maksimum sebesar 96,5776 m dan 96,2777 m, kehilangan tinggi tekan minimum sebesar 0 m, serta total kehilangan tinggi tekan sebesar 2155,690 m dan 2149,224 m.</p> | <p>Penelitian terdahulu melakukan proyeksi rencana pengembangan jaringan perpipaan selama 10 tahun kedepan (dari tahun 2015 hingga tahun 2024). Sedangkan penelitian terkini melakukan analisis ulang terhadap jaringan perpipaan yang sama / eksisting pada tahun 2021.</p> |

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu Lanjutan

| No | Judul Penelitian | Hasil Penelitian Terdahulu | Perbedaan dengan Penelitian Terkini |
|----|--|--|---|
| 9 | <p>Studi Perencanaan Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih Pada Perumahan Bumi Podo Rukun, Dau, Kabupaten Malang dengan Menggunakan <i>Software Watercad</i> (Jurnal Rekayasa Sipil/Vol. 9, No. 3 Februari 2021) - (Putri et al., 2021)</p> | <p>Debit sumber air yang tersedia untuk Perumahan Bumi Podo Rukun hingga tahun 2029 adalah 30 m³/jam, dan debit dari reservoir adalah 90 m³/jam dengan kebutuhan air puncak adalah 10,319 m³/jam. Berdasarkan perhitungan diameter pipa diperoleh pipa PVC diameter atau 4", pipa PVC diameter 2 1/2" dan pipa PVC diameter 50 mm atau 1 1/2". Rencana anggaran biaya yang harus dikeluarkan dalam perencanaan pipa jaringan distribusi air bersih pada Perumahan Bumi Podo Rukun adalah sejumlah Rp738.368.050,29.</p> | <p>Penelitian terdahulu melakukan proyeksi kebutuhan air domestik dari tahun 2020 hingga 2029 dengan serta menghitung rencana anggaran biaya total yang dibutuhkan untuk perencanaan. Sedangkan Penelitian terkini melakukan perhitungan kebutuhan air non domestik menggunakan data permintaan dari industri tahun 2020 – 2021 serta menghitung penggunaan listrik pompa distribusi.</p> |
| 10 | <p>Perencanaan Ulang Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Dengan Program Watercad di Kecamatan Sukun Kota Malang Provinsi Jawa Timur (Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi Polinema Malang) - (Ramadhanty et al., 2021)</p> | <p>Debit kebutuhan air pada tahun 2029 sebesar 39.567 l/dt. Pipa transmisi yang dipakai adalah pipa HDPE diameter 6" sepanjang 16 m dan pipa distribusi yang digunakan adalah pipa HDPE diameter 1/2" sepanjang 13814m, pipa HDPE diameter 1 1/2" sepanjang 18585m, pipa HDPE diameter 2 1/2" sepanjang 6868m, pipa HDPE diameter 4" sepanjang 5799m, pipa HDPE diameter 6" sepanjang 2955m, pipa HDPE diameter 8" sepanjang 3412m. Reservoir ukuran 15 x 7.5 x 10 m. Biaya yang diperlukan adalah Rp15,719,000,000.000,- dengan lama waktu pengerjaan 339 hari kerja.</p> | <p>Penelitian terdahulu melakukan proyeksi kebutuhan air domestik selama 10 tahun kedepan, dari tahun 2020 hingga 2029 serta menghitung rencana anggaran biaya total yang dibutuhkan untuk perencanaan. Sedangkan Penelitian terkini melakukan perhitungan kebutuhan air non domestik menggunakan data permintaan dari industri tahun 2020 – 2021 serta menghitung penggunaan listrik pompa distribusi.</p> |

2.2 Umum

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor: 416/Menkes/PER/IX/1990, air bersih adalah air yang memenuhi persyaratan dalam sistem penyediaan air minum, sehingga air bersih yang digunakan untuk keperluan sehari-hari harus memenuhi syarat-syarat kesehatan dan dapat diminum setelah dimasak sebelumnya. Persyaratan dalam sistem penyediaan air bersih tersebut dilihat dari segi kualitas air yang meliputi kualitas fisik, kimia, biologis dan radiologis, sehingga jika dikonsumsi tidak akan menimbulkan efek samping serta melihat juga dari segi kuantitas. Namun pada penelitian ini dibatasi hanya kepada penyediaan air bersih dari segi kuantitas saja.

2.3 Persyaratan Dalam Penyediaan Air Bersih

Kinerja penyediaan air bersih untuk setiap Perusahaan atau pabrik yang dilayani oleh PT. AB Jatim belum tentu memiliki kualitas dan kuantitas yang sama dengan Perusahaan lainnya. Persyaratan dalam penyediaan air bersih dapat dilihat dalam beberapa hal yaitu:

2.3.1 Persyaratan kebutuhan air bersih

Dalam persyaratan kebutuhan air bersih, Kriteria dari pemakaian air terdiri dari kebutuhan air domestik dan kebutuhan air non domestik. Kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air bersih yang digunakan untuk keperluan rumah tangga yang dilakukan melalui Sambungan Rumah (SR) dan kebutuhan umum yang disediakan melalui fasilitas Hidran Umum (HU). Kebutuhan air domestik dihitung berdasarkan jumlah penduduk dan laju pertumbuhan penduduk yang ada pada suatu daerah/wilayah yang menjadi daerah layanan. Sedangkan kebutuhan air non

domestik merupakan kebutuhan air bersih yang dibutuhkan untuk berbagai fasilitas sosial dan komersial seperti rumah sakit, sekolah dan lain-lain (Kimpraswil, 2002). Besarnya pemakaian air untuk kebutuhan non domestik 20% dari kebutuhan domestik (Fitriadi, 2013). Untuk lebih lengkapnya seperti yang diperlihatkan pada di bawah ini.

Tabel 2.2 Kebutuhan Air Domestik

| No | Uraian | Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk (jiwa) | | | | |
|----|---|--|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| | | I | II | III | IV | V |
| | | >1.000.000 Metro | 500.000 – 1.000.000 Besar | 100.000 - 500.000 Sedang | 20.000 - 100.000 Kecil | <20.000 IKK & Desa |
| 1 | Konsumsi unit sambungan rumah (SR) ltr/org/hr | 190 | 170 | 150 | 130 | 30 |
| 2 | Konsumsi unit hidran umum (HU) ltr/org/hr | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 3 | Konsumsi unit non domestik (%) | 20-30 | 20-30 | 20-30 | 20-30 | 20-30 |
| 4 | Kehilangan air (%) | 20-30 | 20-30 | 20-30 | 20-30 | 20 |
| 5 | Faktor Maksimum day | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| 6 | Faktor Peak Hour | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| 7 | Jumlah jiwa per sambungan rumah | 5 | 5 | 6 | 6 | 10 |
| 8 | Jumlah jiwa per hidran umum | 100 | 100 | 100 | 100-200 | 200 |
| 9 | Sisa tekan di jaringan distribusi | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 10 | Jam operasi | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 11 | Volume Reservoir (%) | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 12 | SR : HU | 50:50 s/d 70:30 | 50:50 s/d 80:20 | 80:20 s/d 80:20 | 70 | 30 |
| 13 | Cakupan pelayanan (*) | **90 | **90 | **90 | **90 | ***70 |

*) tergantung survei sosial ekonomi

***) 60% perpipaan, 30% non perpipaan

****) 20% perpipaan, 45% non perpipaan

Tabel 2.3 Kebutuhan Air Non Domestik

| No | Uraian | Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Penduduk (jiwa) | | | | | Keterangan |
|----|--------------------|--|---------|---------|---------|-----|-----------------------|
| | | I | II | III | IV | V | |
| 1 | Sekolah | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | Ltr/murid/hr |
| 2 | Rumah sakit | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | Ltr/bed/hr |
| 3 | Puskesmas | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.2 | m ³ /hr |
| 4 | Masjid | >2 | >2 | >2 | >2 | >2 | m ³ /hr |
| 5 | Kantor | 10 | 10 | 10 | 10 | | Ltr/peg/hr |
| 6 | Pasar | 12 | 12 | 12 | 12 | | M ³ /ha/hr |
| 7 | Hotel | 150 | 150 | 150 | 150 | 90 | Ltr/bed/hr |
| 8 | Rumah Makan | 100 | 100 | 100 | 100 | | Ltr/tmpt ddk/hr |
| 9 | Komplek Militer | 60 | 60 | 60 | 60 | | Ltr/org/hr |
| 10 | Kawasan Industri | 0.2-0.8 | 0.2-0.8 | 0.2-0.8 | 0.2-0.8 | | Ltr/det/ha |
| 11 | Kawasan Pariwisata | 0.1-0.3 | 0.1-0.3 | 0.1-0.3 | 0.1-0.3 | | Ltr/det/ha |

2.3.2 Persyaratan kuantitas (debit)

Dalam hal penyediaan air bersih, persyaratan kuantitasnya dilihat dari banyaknya sumber air baku yang tersedia, dimana air baku tersebut dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan kebutuhan dari wilayah yang akan dilayani. Kebutuhan akan air bersih sangat dipengaruhi oleh pertambahan / pengembangan di wilayah industri tersebut, Kondisi geografis, serta perilaku atau pola penggunaan air oleh tiap-tiap perusahaan.

2.3.3 Persyaratan kontinuitas

Kontinuitas ini diartikan bahwa air bersih dari sumber air baku harus tersedia setiap saat atau harus tersedia 24 jam per hari. Kontinuitas aliran terhadap standar minimal pengaliran air memang belum memiliki standar yang pasti, tetapi jika

ditinjau dari jam-jam aktivitas konsumen terhadap prioritas pemakaian air, maka dapat diketahui bahwa pelanggan sangat membutuhkan air paling tidak dengan harapan air mengalir minimal selama 12 jam sehari yaitu pada pukul 06:00 sampai dengan pukul 18:00.

Sistem jaringan perpipaan didesain untuk membawa suatu kecepatan aliran tertentu. Ukuran pipa tidak boleh melebihi dimensi yang diperlukan dan juga tekanan dalam sistem jaringan harus terpenuhi. Setiap aliran air di dalam pipa harus memenuhi azas kontinuitas, dimana debit yang masuk dalam sisi 1 sama dengan debit yang keluar pada sisi 2 yaitu $Q_1=Q_2$, dengan persamaan debit seperti di bawah ini (Triatmodjo, 1996):

$$Q=V.A \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

Q = Debit (m^3/det);

V = Kecepatan Aliran (m/det);

A = Luas Penampang Pipa (m^2).

2.3.4 Persyaratan kecepatan aliran dan tekanan air

Dalam pendistribusian air agar terjangkau untuk seluruh area layanan dan untuk memaksimalkan tingkat pelayanan, maka yang harus diperhatikan adalah sisa tekanan air. Sisa tekanan air paling rendah adalah 5 mka (meter kolom air) atau setara dengan 0,5 atm (1 atm = 10 mka), dan sisa tekanan air paling tinggi adalah 22 mka (Agustina, 2007).

Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Depertemen Pekerjaan Umum (2002), kecepatan izin dalam pipa distribusi berkisar antara 0,3-2,5 m/det. Ukuran pipa tidak boleh melebihi dimensi yang diperlukan, dan tekanan dalam sistem harus

cukup. Air yang dialirkan ke pelanggan dari pipa transmisi dan pipa distribusi, dirancang agar dapat melayani pelanggan hingga yang terjauh, dengan tekanan air minimum sebesar 1 atm. Tekanan ini harus dijaga, tidak boleh terlalu tinggi dan tidak boleh terlalu rendah. Jika tekanannya terlalu tinggi, maka akan merusak pipa atau membuat pipa menjadi pecah dan dapat merusak alat-alat *plumbing* dan jika tekanannya terlalu rendah, maka akan menyebabkan terjadinya kontaminasi air selama mengalir dalam pipa distribusi.

Air yang mengalir dalam pipa memiliki beberapa macam energi, yaitu energi kinetik, energi potensial dan kehilangan energi. Dari ketiga energi tersebut, dapat dinyatakan dalam sebuah persamaan Hukum Bernoulli seperti di bawah ini (Triatmodjo, 1996):

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + h_f \dots\dots\dots (2.2)$$

Tinggi energi kinetiknya adalah: $h = \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.3)$

dimana :

P = Tekanan (atm atau mka);

V = Kecepatan aliran (m/det) ;

h = Elevasi (m);

$\gamma = \rho \cdot g = \text{Newton/m}^3$;

$\rho = \text{massa jenis (kg/m}^3)$;

g = gaya gravitasi bumi (m/det²);

hf = hilang tekan karena gaya gesek pipa (m)

2.3.5 Fluktuasi kebutuhan air bersih

Fluktuasi merupakan persentase jumlah pemakaian air pada tiap jam tergantung dari kebiasaan pelanggan serta pola pemakaian air oleh pelanggan, sehingga kebutuhan air menjadi berubah setiap waktunya (Rosadi, 2011). Dalam distribusi layanan air bersih kepada pelanggan, maka tolak ukur yang digunakan

dalam perencanaan maupun evaluasi terhadap layanan adalah kebutuhan air jam puncak (Q_{peak}) dan kebutuhan air harian maksimum (Q_{max}) dengan mengacu pada kebutuhan air rata-rata. Kebutuhan air rata-rata harian (Q_{av}) merupakan jumlah air per hari yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan domestik dan non domestik. Kebutuhan harian maksimum (Q_{max}) merupakan jumlah air terbanyak yang dibutuhkan dalam satu hari untuk waktu satu tahun berdasarkan nilai kebutuhan air rata-rata harian, seperti terlihat pada persamaan di bawah ini (Rosadi, 2011) :

$$Q_{max} = F_{max} \times Q_{av}$$

$$F_{peak} = \frac{Q_{peak}}{Q_{max}} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana :

Q_{max} = Kebutuhan air harian maksimum (ltr/det);

F_{max} = Faktor harian maksimum ($1 < F_{max} < 1,5$);

Q_{av} = Kebutuhan air rata-rata harian (ltr/det).

2.4 Kehilangan air

Kehilangan air atau *Non Revenue Water* (NRW) adalah selisih antara jumlah air yang diproduksi dengan air yang terjual atau yang didistribusikan kepada pelanggan melalui meter air. Dalam standar kriteria desain sistem penyediaan air bersih, faktor kehilangan air yang diperbolehkan tidak melebihi angka toleransi sebesar 20% dari kapasitas debit produksi (Fitriadi, 2013). Angka kebocoran atau kehilangan air menurut kriteria desain yang ditetapkan oleh Dirjen Cipta Karya tahun 1998 sebesar 15-30% (Nugraha, 2010).

Tingkat kehilangan air dihitung persentasenya berdasarkan selisih antara jumlah air yang didistribusikan (m^3) dengan jumlah air yang tercatat dalam

rekening. (Djamal et al., 2009) dalam (Fitriadi, 2013), menyatakan besarnya tingkat kehilangan air adalah persentase perbandingan antara kehilangan air dengan jumlah air yang dipasok ke dalam jaringan perpipaan air, yang dinyatakan dalam di bawah ini:

$$\text{Tingkat kehilangan air} = \frac{\text{kehilangan air}}{\text{jumlah air yang dipasok}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

Dalam suatu penyediaan air minum tidak seluruhnya air yang diproduksi oleh instalasi sampai kepada pelanggan, diakibatkan oleh adanya kebocoran yang disebut dengan kehilangan air. Untuk menghitung persentase nilai kehilangan air dari setiap meter pelanggan dapat digunakan di bawah ini:

$$\text{Kehilangan air dari meter pelanggan} = \frac{\text{Total selisih angka water meter}}{\text{Jumlah sampel pelanggan}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.6)$$

2.5 Sistem Distribusi Air Bersih dan Sistem Pengaliran Air Bersih

2.5.1 Sistem distribusi air bersih

Sistem distribusi merupakan sistem yang secara langsung berhubungan dengan pelanggan, dimana berfungsi untuk mendistribusikan air yang telah memenuhi untuk semua daerah layanan. Sistem distribusi ini meliputi unsur sistem perpipaan dan perlengkapannya, hidran kebakaran, tekanan tersedia, sistem pemompaan dan tangki distribusi (Damanhuri, 1989).

Yang termasuk ke dalam sistem distribusi air bersih adalah distribusi dari tangkinya yang digunakan saat kebutuhan air lebih besar dari *supply* instalasi, meteran air yang digunakan untuk menentukan banyaknya air yang akan digunakan, pipa-pipa, katup-katup, keran serta pompa yang digunakan untuk

membawa aliran air dari instalasi pengolahan air bersih ke daerah-daerah layanan yang membutuhkan air. Dalam sistem suplai air minum ke pelanggan/konsumen memiliki dua sistem yaitu *Continous System* dan *Intermitten System*. *Continous System* mensuplai air ke konsumen secara terus menerus selama 24 jam, dengan keuntungan konsumen dapat memperoleh air bersih dari jaringan pipa di posisi manapun. Namun kerugian dari sistem ini adalah pemakaian air yang cenderung lebih boros dan bila terjadi sedikit kebocoran, maka akan banyak jumlah air yang hilang. Sedangkan *Intermitten System*, air yang disuplai tidak selama 24 jam, hanya pada jam-jam tertentu, 2-4 jam di pagi hari dan 2-4 jam di sore hari. Sistem ini memiliki kerugian dimana pelanggan tidak dapat menggunakan/mendapatkan air setiap saat, dan pelanggan membutuhkan tempat penyimpanan air. Dimensi pipa yang digunakan dengan sistem ini juga membutuhkan dimensi pipa yang lebih besar, karena kebutuhan air yang disuplai tidak dialirkan selama 24 jam, hanya dalam beberapa jam saja. Namun keuntungan dengan *Intermitten System* adalah terjaganya pemborosan penggunaan air, dan kondisi ini sangat cocok untuk daerah dengan sumber air terbatas (Agustina, 2007).

Metode dari sistem distribusi air tergantung pada kondisi topografi dari sumber air dan posisi para konsumen berada. Sistem distribusi air memiliki rangkaian yaitu sumber air baku – pipa utama –Tangki / layanan penyimpanan – pipa induk – pipa distribusi. Pipa utama mengalirkan air pada tingkat yang konstan, sedangkan pipa induk mengalirkan air dengan kebutuhan air yang bervariasi/fluktuatif (Masimin & Ariff, 2012).

2.5.2 Sistem pengaliran air bersih

Sistem pengaliran yang digunakan adalah cara gravitasi, pompa dan gabungan keduanya (Agustina, 2007).

1. Cara Gravitasi.

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

2. Cara Pemompaan

Cara pengaliran air dengan sistem pemompaan digunakan untuk meningkatkan tekanan yang diperlukan dalam mendistribusikan air dari *reservoir* distribusi kepada konsumen/pelanggan. Sistem pengaliran dengan cara ini digunakan jika elevasi antara sumber air atau instalasi pengolahan dengan daerah pelayanan tidak dapat memberikan tekanan yang cukup.

3. Cara Gabungan

Pada pengaliran dengan sistem gabungan ini, *reservoir* digunakan untuk mempertahankan tekanan yang diperlukan selama periode pemakaian tinggi dan pada kondisi darurat, seperti saat terjadi kebakaran. Selama periode pemakaian rendah, sisa air dipompakan dan disimpan dalam *reservoir* distribusi yang berfungsi sebagai cadangan air selama periode pemakaian tinggi/pemakaian puncak, maka pompa dapat dioperasikan pada kapasitas debit rata-rata.

2.6 Sistem Pemompaan Jaringan pipa air bersih

Pompa dapat digunakan atau dipandang sebagai alat untuk menambah debit dan tekanan. Pada sistem transmisi atau distribusi, perlu menggunakan pompa jika kondisi daerah yang direncanakan memiliki elevasi sumber air yang lebih rendah dari pemukiman. Debit pompa distribusi ditentukan berdasarkan fluktuasi pemakaian air dalam satu hari. Pompa harus mampu mensuplai debit air saat jam puncak dengan menyediakan pompa cadangan. Beberapa faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan pompa adalah sebagai berikut :

1. kapasitas dan total head pompa mampu beroperasi dengan efisiensi tinggi dan bekerja pada titik optimum sistem;
2. kombinasi pemasangan pompa. Penggunaan beberapa pompa kecil lebih ekonomis dari pada satu pompa besar. Pemakaian pompa kecil akan lebih ekonomis pada saat pemakaian air minimum di daerah distribusi. Namun perubahan dari operasi satu pompa ke operasi beberapa pompa mengakibatkan efisiensi pompa masing-masing berbeda-beda;
3. pompa cadangan diperlukan untuk mengatasi suplai air saat terjadi perawatan dan perbaikan pompa. Pemasangan beberapa pompa sangat ekonomis, dimana pada saat jam puncak semua pompa bekerja. dan apabila salah satu pompa tidak dapat berfungsi, maka kekurangan suplai air ke daerah pelayanan tidak terlalu banyak;
4. peningkatan kapasitas pompa pada stasiun pompa eksisting dapat ditingkatkan dengan penambahan jumlah pompa, memperbesar ukuran impeller pompa atau

mengganti pompa lama dengan pompa baru. Setiap alternatif tersebut harus dievaluasi dalam perancangan teknik perpompaan.

2.7 Analisa Sistem Jaringan Distribusi Air bersih dengan Aplikasi Software

Analisis sistem jaringan distribusi air bersih merupakan suatu perencanaan yang rumit. Penyebab utama rumitnya analisis dikarenakan banyaknya jumlah proses *trial and error* yang harus dilakukan pada seluruh komponen yang ada pada sistem jaringan distribusi air bersih jaringan tersebut.

Pada saat ini program-program komputer di bidang perencanaan sistem jaringan distribusi air bersih sudah demikian berkembang dan maju sehingga kerumitan dalam perencanaan sistem jaringan distribusi air bersih dapat diatasi dengan menggunakan program tersebut.

Beberapa program komputer di bidang rekayasa dan perencanaan sistem jaringan distribusi air bersih diantaranya adalah program *LOOPS*, *WADISO*, *EPANET 1.1*, *EPANET 2.0*, *WaterCAD*, dan *WaterNet*. Dalam studi ini digunakan program *WaterCAD v.8i* karena program ini tergolong menganalisis sistem jaringan distribusi air bersih.

2.7.1 Program WaterCAD v8i

Program *WaterCAD v.8i* merupakan produksi dari *Bentley* dengan jumlah pipa yang mampu dianalisis yaitu lebih dari 250 buah pipa sesuai pemesanan spesifikasi program *WaterCAD v.8i* pada *Bentley*. Program ini dapat bekerja pada sistem *Windows 95*, *98* dan *2000* serta *Windows NT 4.0*. Program ini memiliki

tampilan *interface* yang memudahkan pengguna untuk menyelesaikan lingkup perencanaan dan pengoptimalisasian sistim jaringan distribusi air bersih, seperti:

1. Menganalisis sistim jaringan distribusi air pada satu kondisi waktu (kondisi permanen).
2. Menganalisis tahapan-tahapan atau periodisasi simulasi pada sistim 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 sistim jaringan distribusi air bersih.
6. Menghitung konstruksi biaya dari sistim jaringan distribusi air bersih yang dibuat.

Adapun kelebihan program *WaterCAD v.8i* dibandingkan dengan program lain adalah:

1. Mendukung *GIS database connection* (Sistim Informasi Geografis) pada program *ArcView*, *ArcCAD*, *MapInfo* dan *AutoCAD* yang memudahkan untuk penggabungan model hidrolik *WaterCad* dengan database utama pada program tersebut.
2. Mendukung program *Microsoft Office*, *Microsoft Excel* dan *Microsoft Access* untuk *sharing* data pada file *WaterCad*.

3. Mendukung program *EPANET* versi *Windows* sehingga dapat mengubah *file* jaringan pipa program tersebut ke dalam bentuk *fileWaterCAD* (.wtg)

Keuntungan dalam menggunakan *software* tersebut adalah dapat mengecek kesalahan pada saat *input* data, menampilkan analisa jaringan, bantuan dalam pengeditan yang sistematis serta *output* dapat berupa grafik yang dapat diatur sesuai keperluan. Dibutuhkan beberapa *item* untuk dapat menjalankan *Bentley WaterCADv8i* sehingga didapatkan hasil yang sesuai, yaitu *Link* (berupa pipa) dan *Node* (dapat berupa *junction*, tank, atau *reservoir*) (Bentley, 2007).

Data yang dibutuhkan dalam pengerjaan *software Bentley WaterCAD v8i* antara lain:

1. Peta jaringan
2. Elevasi wilayah perencanaan
3. *Node/Junction*
4. Besar debit masing-masing *node*
5. Jenis pipa
6. Panjang pipa
7. Diameter pipa
8. Faktor fluktuasi pemakaian air

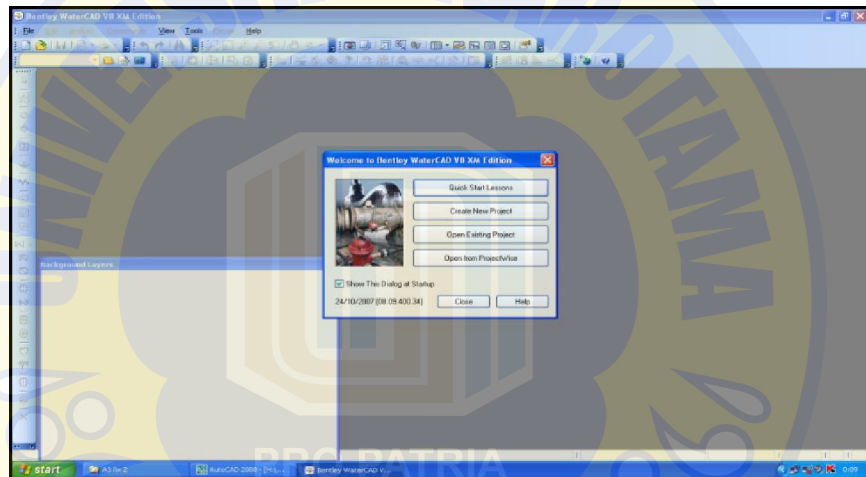
Data yang dapat dihasilkan antara lain :

1. *Hydraulic grade line* masing-masing titik
2. Tekanan air
3. Kecepatan aliran (*velocity*),
4. Kehilangan air (*unit headloss*), dan lainnya

2.7.2 Tahapan-tahapan dalam Penggunaan Program *WaterCAD v8i*

1. Welcome Dialog

Pada setiap pembukaan awal program *WaterCAD v.8i*, akan diperlihatkan sebuah dialog box yang disebut Welcome Dialog. Kotak tersebut memuat Quick Start Lesson, Create New Project, Open Existing Project serta Open from Project Wise seperti terlihat pada gambar di bawah. Melalui Welcome Dialog ini pengguna dapat langsung mengakses ke bagian lain untuk menjalankan program ini.



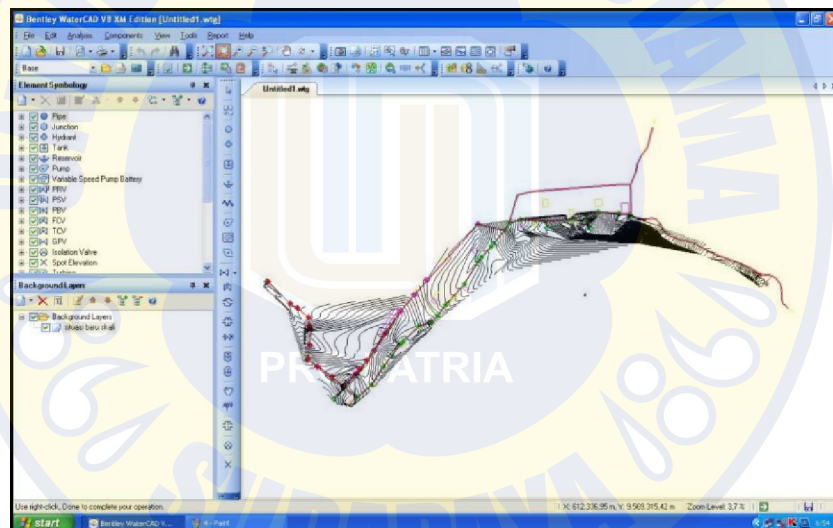
Gambar 2.1 Tampilan *Welcome Dialog* Pada *WaterCAD v8i*

Sumber : *Bentley Program WaterCAD v.8i*

Quick Start Lesson, digunakan untuk mempelajari program dengan melihat contoh jaringan yang telah disediakan. *WaterCAD v.8i* akan menuntun kita memahami cara menggunakan program ini. Untuk membuka *Quick Start Lesson* dilakukan dengan cara klik 2 kali kotak *Quick Start Lesson*. Dan *Create New Project* digunakan untuk membuat lembar kerja baru.

2. Pembuatan Lembar Kerja

Pembuatan lembar kerja baru atau *Create New Project* pada program *WaterCAD v8i* ini dapat dilakukan dengan cara klik 2 kali *Create New Project* pada *Welcome Dialog*. Setelah masuk ke dalam lembar kerja baru tampilkan *Background Layers* dengan cara mengklik kanan *Background Layers – New – File* dan pilih file *DXF*. Setelah file dxf terpilih masuk dalam *DXF. Properties* dan unit diganti dalam m (meter). Setelah itu klik OK dan *Zoom Extents*. Setelah *Background Layers* muncul dalam tampilan maka perencanaan atau penggambaran jaringan bisa dilakukan.



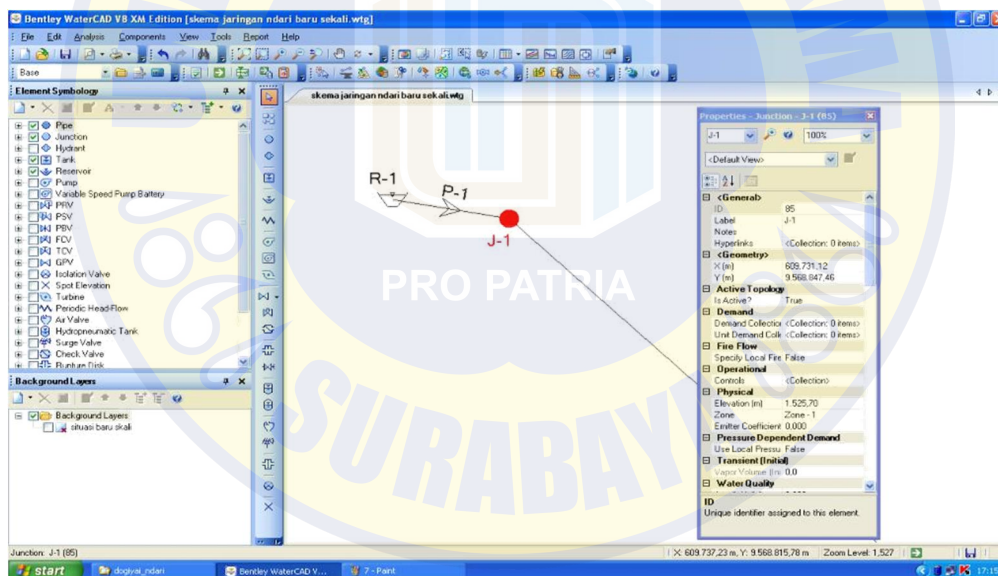
Gambar 2.2 Tampilan Background Layers Pada WaterCAD v.8i

Sumber : *Bentley Program WaterCAD v.8i*

Setelah penggambaran jaringan dilakukan adalah pengisian data-data teknis dan pemodelan komponen-komponen sistim jaringan distribusi air bersih yang akan dipakai dalam penggambaran yang memudahkan untuk pengecekan. Komponen tersebut terdiri dari *reservoir*, pipa, titik simpul (*junction*), tangki, dan lain-lain

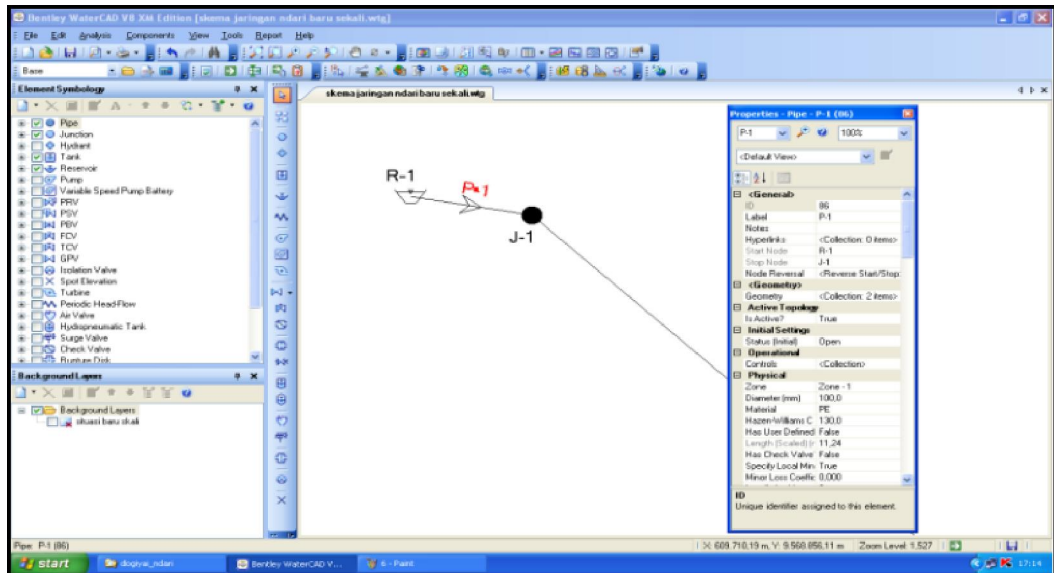
3. Pemodelan Komponen-Komponen Sistem Jaringan Distribusi Air bersih

Dalam *WaterCAD v.8i*, komponen-komponen sistem jaringan distribusi air bersih seperti titik reservoir, pipa, titik simpul (*junction*), tangki tersebut dimodelkan sedemikian rupa sehingga mendekati kinerja komponen tersebut di lapangan. Untuk keperluan pemodelan, *WaterCAD v.8i* 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 v.8i*.



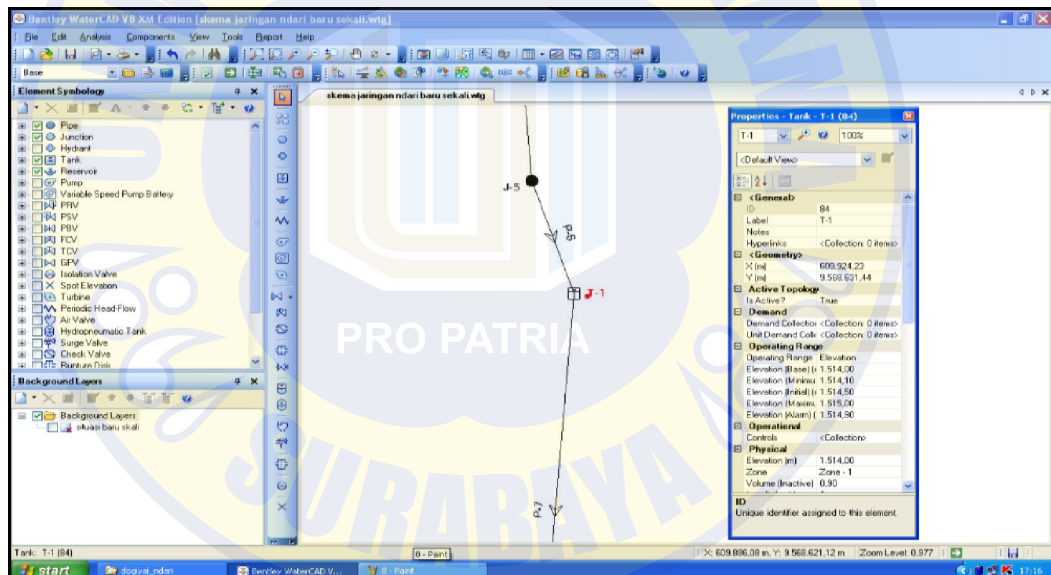
Gambar 2.3 Contoh Tampilan Pengisian Data Teknis Junction Pada *WaterCAD v 8i*

Sumber : *Bentley Program WaterCAD v.8i*



Gambar 2.4 Contoh Pengisian Data Teknis Pipa pada *WaterCAD v 8i*

Sumber : *Bentley Program WaterCAD v.8i*

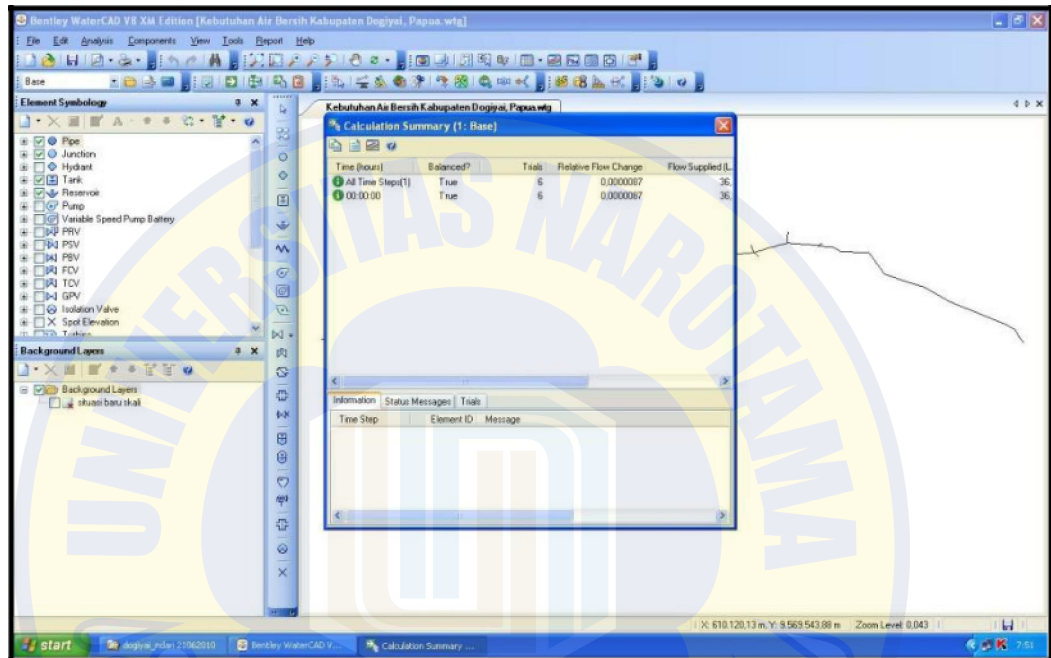


Gambar 2.5 Contoh Pengisian Data Teknis Tangki *WaterCAD v 8i*

Sumber : *Bentley Program WaterCAD v.8i*

4. Perhitungan dan Analisis Sistem Jaringan Distribusi Air bersih

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



Gambar 2.6 Contoh Hasil Running (Calculate) Pada *WaterCAD v 8i*

Sumber : *Bentley Program WaterCAD v.8i*