

PENGEMBANGAN SISTEM JARINGAN AIR BERSIH DI KECAMATAN DULLAH SELATAN KOTA TUAL PROVINSI MALUKU

Nenny Roostrianawaty¹, Zachro Bugis²

¹Dosen, Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Malang

²Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Malang

Email: nennyroos.nr@gmail.com

ABSTRACT

South Dullah sub-district is one of the district located in the city of Tual Maluku Province with an average annual population growth of 3.5% with a population at 3,5 the end of 2018 of 50.523 souls.

Clean water services in South Dullah District in 2018 amounted to 55% of the population who have utilized evu springs with a discharge of 163 l / dt, making it possible to develop a clean water distribution network to meet the needs of clean water in the coming year.

From the results of the analysis obtained an increase in clean water services from 2018 by 55% to 85% in 2034 where the increase in service percentage is not very large due to consideration of the availability of existing water sources.

For the plan to develop the pipeline system using a pipe diameter of 150 mm with experimental simulation using the Watercad V8i program obtained simulation results that meet pressure control at peak hours. Besides the price is more economical.

Keywords : network development, clean water ,WaterCad V8i

ABSTRAKSI

Kecamatan Dullah Selatan merupakan salah satu kecamatan yang berada di Kota Tual Provinsi Maluku dengan rata-rata pertumbuhan penduduk per tahunnya sebesar 3,5 % dengan jumlah penduduk pada akhir tahun 2018 sebesar 50.523 jiwa.

Pelayanan air bersih di Kecamatan Dullah Selatan pada tahun 2018 sebesar 55% dari jumlah penduduk yang mana telah memanfaatkan sumber mata air Evu dengan debit 163 l/dt, sehingga memungkinkan untuk dilakukannya pengembangan jaringan distribusi air bersih guna memenuhi kebutuhan air bersih pada tahun yang akan datang.

Dari hasil analisa diperoleh peningkatan pelayanan air bersih dari tahun 2018 sebesar 55 % menjadi 85 % pada tahun 2034 dimana peningkatan prosentase pelayanan tidak terlalu besar dikarenakan pertimbangan ketersediaan sumber air yang ada.

Untuk rencana pengembangan sistem jaringan pipa menggunakan pipa berdiameter 150 mm dengan simulasi percobaan menggunakan program Watercad V8i didapatkan hasil simulasi yang memenuhi kontrol tekanan pada jam puncak. Selain itu harganya lebih ekonomis.

Kata Kunci : pengembangan jaringan, air bersih, WaterCad V8i

1. LATAR BELAKANG

Kota Tual merupakan pemekaran dari Kabupaten Maluku Tenggara pada tanggal 10 Juli 2007 berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 31 tahun 2007 tentang pembentukan kota Tual di Provinsi

Maluku. Kota Tual dapat dikatakan sebuah kota dengan usia masih sangat muda sehingga perlu adanya perbaikan pada setiap instansi termasuk system distribusi air bersihnya.

Ketersediaan air bersih sangat penting untuk meningkatkan kesehatan masyarakat Kota Tual, namun demikian perlu dilakukan

pengembangan jaringan distribusi air bersih terutama daerah – daerah yang tidak terlayani air bersih. Jumlah penduduk Kota Tual 86.531 jiwa, dan yang terlayani air bersih saat ini baru 55% saja dari jumlah penduduk. Sumber air baku Kota Tual berasal dari mata air Evu. (Sumber PDAM Maren Kota Tual).

Kecamatan Dullah Selatan merupakan salah satu dari lima kecamatan yang berada di Kota Tual, jumlah penduduk Kecamatan Dullah Selatan pada akhir tahun 2018 sebesar 50.523 jiwa dan jumlah pelanggan yang terlayani air bersih pada saat ini berkisar 5.558 unit SR (Sambungan Rumah) atau baru 55 % dari jumlah penduduk Kecamatan Dullah Selatan. Mata air Evu memproduksi 163 lt/dt dimanfaatkan sebagai sumber air baku untuk daerah layanan Kecamatan Dullah Selatan, dan sebagian masyarakat belum terlayani air bersih, Masyarakat yang tidak terlayani oleh PDAM memenuhi kebutuhan air bersih dari PAH (Penampung Air Hujan), sumur dan membeli air dari swasta yang disuplai melalui mobil tangki dimana sumber air berasal dari sumur – sumur dangkal yang kualitasnya kurang memenuhi persyaratan untuk dikonsumsi sebagai air bersih. Berdasarkan kondisi tersebut maka masih perlu dilakukan pengembangan jaringan air bersih supaya kebutuhan masyarakat dapat terpenuhi. Sumber air Evu dengan jumlah produksi yang cukup besar tentu sangat berpotensi untuk dilakukan pengembangan system jaringan pelayanan air bersih Kota Tual.

Seiring dengan laju pertumbuhan penduduk di Kecamatan Dullah Selatan tentunya sangat berpengaruh terhadap kebutuhan air bersih, dimana Kota Tual terus melakukan pengembangan jaringan pelayanan air bersih setiap tahunnya yang bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat, agar penyediaan air bersih di Kecamatan Dullah Selatan dapat berbanding lurus dengan laju pertumbuhan penduduk setiap tahunnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan Penelitian Terdahulu

I Wayan Satupa (Februari, 2009) berdasarkan hasil penelitiannya di wilayah Kota Ampana didapatkan bahwa jika air Sungai Ampana dan Sungai Sunsarino saja digunakan

untuk kebutuhan air minum, maka sampai proyeksi tahun 2007 belum mampu untuk mencukupi kebutuhan air Kota Ampana.

Menurut Emil Salim (1985), masalah air bersih yang menjadi tantangan di masa depan adalah :

1. Penyelamatan air dari eksploitasi secara berlebihan dan pencemaran yang semakin meningkat
2. Kebutuhan air semakin meningkat akibat pertumbuhan penduduk dan keperluan pembangunan seperti air minum, irigasi, perikanan, industri dan sebagainya
3. Menurunnya kualitas air sebagai akibat dari meningkatnya pencemaran air. Hal ini disebabkan karena pembuangan air limbah ke sungai, tanah dan laut

Sumber Air Baku

Pemanfaatan sumber daya air yang dipergunakan untuk daerah layanan Kecamatan Dullah Selatan berasal dari mata air Evu dengan kapasitas debit 1.299 liter/detik namun saat ini baru dimanfaatkan untuk air bersih sebesar 50 liter/detik. Setelah air baku dari sumber telah memenuhi kualitas air bersih sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan di Indonesia, yakni KEPMENKES-RI Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002 dan PERMENKES-RI Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum dan pengawasan kualitas air minum, kemudian air tersebut didistribusikan ke pelanggan melalui reservoir, dan pipa distribusi sehingga dapat dikonsumsi oleh pelanggan melalui sambungan rumah dan hidran umum.

Kualitas Air Baku

Mengingat betapa pentingnya air bersih untuk kebutuhan manusia, maka kualitas air harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu tidak berasa, tidak berwarna, dan tidak berbau. Standar kualitas air baku dibedakan dalam kategori yaitu :

1. Golongan A, yaitu air yang langsung digunakan sebagai air minum tanpa pengolahan
2. Golongan B, yaitu air yang dapat digunakan sebagai air minum dan keperluan rumah tangga, tetapi tidak sesuai untuk golongan A.

- Golongan C, yaitu air baik digunakan untuk perikanan, peternakan dan keperluan lainnya, tetapi tidak sesuai untuk golongan A dan B.

Proyeksi Jumlah Penduduk

Perkembangan penduduk merupakan salah satu faktor penting dalam perencanaan kebutuhan air bersih di masa yang akan datang. Analisa perkembangan penduduk ini digunakan untuk memperkirakan tingkat pelayanan air bersih yang diterima oleh masyarakat.

Hampir di tiap – tiap negara metode proyeksi yang dipakai adalah berbeda – beda karena tiap negara harus menyesuaikan dengan situasi dan kondisi daerah masing – masing. Tingkat pertumbuhan penduduk suatu selain dipengaruhi oleh faktor budaya dan politik juga dipengaruhi oleh faktor ekonomi.

Di Indonesia telah banyak metode yang digunakan untuk menghitung tingkat pertumbuhan penduduk, keadaan ini disebabkan karena Indonesia terdiri dari bermacam – macam suku dan budaya yang berbeda, selain itu keadaan ekonomi Indonesia masih tergolong dalam negara yang berkembang yang pendapatan perkapitanya masih sulit ditetapkan secara pasti.

Metode Aritmatik

Metode ini digunakan bila tidak mengetahui data tentang komponen pertambahan penduduk. Dalam metode ini yang digunakan hanya jumlah penduduk keseluruhan, Perhitungan pertambahan penduduk secara Aritmatik ialah pertumbuhan jumlah penduduk setiap tahun.

Rumus :

$$P_n = P_0 (1 + r . n) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :

- P_n = Jumlah penduduk setelah tahun ke-n (jiwa)
- P₀ = Jumlah penduduk saat ini (jiwa)
- n = Jumlah tahun proyeksi (tahun)
- r = Angka pertumbuhan penduduk per tahun (%)

Metode Geometrik

Perhitungan pada metode ini menggunakan dasar bunga – bunga (bunga majemuk), dimana

angka pertumbuhan (*rate of growth = r*) adalah sama untuk setiap tahun.

Rumus :

$$P_n = P_0 . (1 + r)^n \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

- P_n = Jumlah penduduk setelah tahun ke-n (jiwa)
- P₀ = Jumlah penduduk saat ini (jiwa)
- n = Jumlah tahun proyeksi (tahun)
- r = Angka pertumbuhan penduduk per tahun (%)

Metode Eksponensial

Perkiraan jumlah penduduk berdasarkan metode eksponensial dapat didekati dengan persamaan berikut

Rumus :

$$P_n = P_0 \times e^{r n} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan :

- P_n = Jumlah penduduk setelah tahun ke-n (jiwa)
- P₀ = Jumlah penduduk saat ini (jiwa)
- n = Jumlah tahun proyeksi (tahun)
- r = Angka pertumbuhan penduduk per tahun (%)
- e = Bilangan logaritma natural

Uji Kesesuaian Metode Proyeksi

Untuk melakukan uji kesesuaian metode proyeksi jumlah penduduk, maka jumlah penduduk harus diproyeksikan terlebih dahulu dengan menggunakan metode Aritmatik, Geometrik, Eksponensial kemudian dihitung nilai koefisien korelasinya. Nilai korelasi terbesar dan mendekati + 1 akan digunakan sebagai dasar perencanaan. Rumus perhitungan koefisien korelasi adalah sebagai berikut :

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left(n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right) \left(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right)}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

- r = Koefisien korelasi
- n = Jumlah data
- x = Jumlah penduduk setiap tahun dari tahun dasar
- y = Jumlah penduduk tiap tahun hasil proyeksi

Kebutuhan Air Domestik

Kebutuhan domestik adalah kebutuhan air bersih yang digunakan untuk keperluan rumah

tangga dan sambungan kran umum. Jumlah kebutuhan air tersebut ditentukan dari data yang ada berdasarkan karakteristik dan perkembangan konsumen pemakai air bersih.

Tingkat kebutuhan air bersih untuk sambungan rumah adalah :

- 130 – 150 Ltr/hari untuk kategori kota kecil (20.000 – 100.000 jiwa)
- 150 – 170 Ltr/hari untuk kategori kota sedang (100.000 – 500.000 jiwa)
- 170 – 200 Ltr/hari untuk kategori kota besar (500.000 – 1.000.000 jiwa)

Jumlah pemanfaat untuk sambungan rumah adalah

- 5 orang untuk kota kecil
- 6 orang untuk kota sedang
- 8 orang untuk kota besar

Rumus :

- Sambungan Rumah
= Kebutuhan Air Perkapita (130 Lt/org/hri) * 70% Jumlah Penduduk Yang Dilayani.
- Hidran Umum
= Kebutuhan Air Perkapita (30 Lt/org/hri) * 10% Jumlah Penduduk Yang Dilayani.

(Sumber : R. K Linsley et. Al. *Water Resource Engineering*)

Kebutuhan Air Non Domestik

Kebutuhan air non domestik meliputi kebutuhan sosial dan kebutuhan industri. Jenis fasilitas non domestik tersebut antara lain fasilitas perkantoran, pendidikan, perdagangan, rumah ibadah, dan fasilitas kesehatan. Perhitungan non domestik diperhitungkan berdasarkan presentasi dari kebutuhan domestik dan kategori sebagai berikut 20% - 30% untuk kategori kota kecil, kota sedang, kota besar.

Rumus :

30% * (Kebutuhan Air Sambungan Rumah + Kebutuhan air Hidran Umum).

(Sumber : R. K Linsley et. Al. *Water Resource Engineering*)

Fluktuasi Kebutuhan Air

Kebutuhan air bersih tidak akan selalu sama, tetapi akan selalu berfluktuasi. Pada umumnya kebutuhan air dibagi dengan tiga kelompok :

1. Kebutuhan harian rata – rata

Adalah kebutuhan air untuk keperluan domestik dan non domestik termasuk kehilangan air. Biasanya dihitung berdasarkan kebutuhan akan air rata – rata per orang per hari dihitung dari pemakaian air setiap jam selama sehari (24 jam).

2. Kebutuhan Jam Puncak Maksimum

Adalah pemakaian air tertinggi dalam satu hari. Kebutuhan air pada jam puncak dihitung berdasarkan kebutuhan air harian rata – rata dengan menggunakan faktor pengali.

3. Kebutuhan Puncak Harian Maksimum

Adalah banyaknya air yang dibutuhkan terbesar dalam satu tahun. Kebutuhan harian maksimum dihitung berdasarkan kebutuhan air harian rata – rata dengan faktor pengali sebagai berikut :

Kebutuhan air harian maksimum : 1,15 x kebutuhan air rata – rata.

(Sumber : R. K Linsley et. Al. *Water Resource Engineering*)

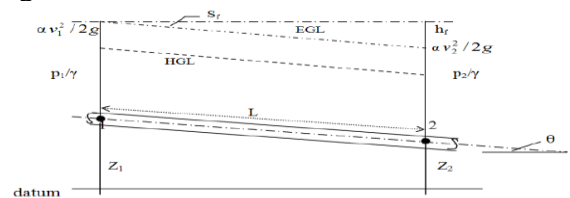
Kehilangan Tinggi Tekan (*Head Loss*)

Kehilangan tinggi tekan dalam pipa terdiri dari kehilangan tinggi tekan mayor (*major losses*) dan kehilangan tinggi tekan minor (*minor losses*).

E_{Tot} = Energi Ketinggian + Energi Kecepatan + Energi Tekanan

$$E_{Tot} = h + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma w} \dots \dots \dots (2.5)$$

Persamaan tersebut dapat digambarkan pada gambar berikut :



Gambar 2.1 Gradien Hidrolika

Kehilangan Tinggi Tekan Mayor (*Mayor Losses*)

Fluida yang mengalir dalam pipa akan mengalami tegangan geser dan gradien kecepatan pada seluruh medan karena pengaruh dari kekentalan fluida. Tegangan geser tersebut akan menyebabkan terjadinya kehilangan tenaga selama pengaliran (Triatmodjo, 1996). Tegangan geser yang terjadi pada dinding pipa merupakan penyebab utama penurunan garis energi pada suatu aliran (*major losses*) dan selain itu tergantung juga pada jenis pipa.

(Sumber : R. K Linsley et. Al. *Water Resource Engineering*)

Kehilangan Tinggi Tekan Minor (*Minor Losses*)

Faktor lain yang juga berpengaruh terhadap besarnya kehilangan tinggi tekan pada suatu aliran adalah kehilangan tinggi tekan minor. Kehilangan tinggi tekan minor ini disebabkan karena perubahan mendadak dari ukuran penampang pipa yang menyebabkan turbulensi, belokan, adanya katup dan berbagai jenis sambungan (Heasted dalam *Water Cad user's guide*, 2001). Untuk pipa yang panjang atau $L/D > 1000$, kehilangan tinggi tekan minor dapat diabaikan karena nilainya tidak signifikan terhadap kehilangan energi utama. Selain itu faktor pekerjaan manusia (*man work*) juga berpengaruh terhadap nilai kehilangan tinggi tekan minor, terutama untuk berbagai macam sambungan. (Sumber : R. K Linsley et. Al. *Water Resource Engineering*)

Hidraulika Aliran Jaringan Pipa Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dalam pipa yang diijinkan adalah 0,3 – 6 m/det, hal ini tergantung pada kondisi setempat yaitu kemiringan lahan maupun adanya penambahan tekanan dari pemompaan. Kecepatan tidak boleh terlalu kecil agar tidak menyebabkan terjadinya endapan dalam pipa. Sebaliknya, jika kecepatan aliran terlalu tinggi, maka akan berakibat korosi pada pipa dan menambah nilai *headloss*. Untuk menghitung kecepatan digunakan rumus kontinuitas sebagai berikut :

$$Q = AV \dots\dots\dots(2.6)$$

$$Q = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot V \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- Q : debit aliran (m³/det)
- V : kecepatan aliran (m/det)
- A : luas penampang basah (m²)
- D : diameter pipa (m)

Hukum Bernoulli

Air pada pipa selalu mengalir dari tempat yang tinggi energinya lebih besar ke tempat yang tinggi energinya lebih kecil. Hal tersebut dikenal dengan prinsip Bernoulli.

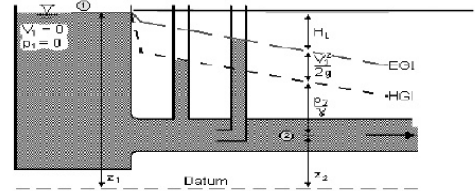
Hukum Bernoulli menyatakan bahwa tinggi energi total pada sebuah penampang pipa

adalah jumlah energi kecepatan, energi tekanan dan energi ketinggian yang dapat ditulis :

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

$$E_{Tot} = h + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma_w} \dots\dots\dots(2.8)$$

Menurut teori Kekekalan Energi apabila tidak ada energi yang lolos atau diterima antara dua titik dalam satu sistem tertutup, maka energi totalnya tetap konstan. Hal tersebut dapat dijelaskan pada gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2 Diagram Energi dan Garis Tekanan

Sumber : (Haestad, 2002 : 267)

Sehingga Hukum Kekekalan Bernoulli pada Gambar 2.2 dapat ditulis sebagai berikut (Haestad, 2002 : 267) :

$$h_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan :

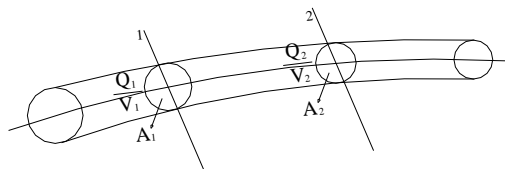
- $\frac{p_1}{\gamma}, \frac{p_2}{\gamma}$ = tinggi tekanan di titik 1 dan 2 (m)
- $\frac{v_1^2}{2g}, \frac{v_2^2}{2g}$ = tinggi energi di titik 1 dan 2 (m)
- P_1, P_2 = tekanan di titik 1 dan 2 (kg/m²)
- γ_w = berat jenis air (kg/m³)
- v_1, v_2 = kecepatan aliran di titik 1 dan 2 (m/det)
- g = percepatan gravitasi (m/det²)
- h_1, h_2 = tinggi elevasi di titik 1 dan 2 dari garis yang ditinjau (m)
- h_L = kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m)

Pada gambar di atas, terlihat garis yang menunjukkan besarnya tinggi tekan air pada titik tinjauan yang disebut garis gradien hidrolis atau garis kemiringan hidrolis. Jarak vertikal antara pipa dengan gradien hidrolis menunjukkan tekanan yang terjadi dalam pipa. Perbedaan ketinggian antara titik 1 dan 2

adalah kehilangan energi yang terjadi sepanjang penampang 1 dan 2.

Hukum Kontinuitas

Air yang mengalir dalam suatu pipa yang mempunyai luas penampang dan kecepatan secara terus menerus akan memiliki debit yang sama pada setiap penampangnya. Dalam persamaan hukum kontinuitas dinyatakan bahwa debit yang masuk ke dalam pipa sama dengan debit yang keluar.



Gambar 2.3 Aliran dengan Penampang Pipa yang Berbeda

Sumber : Triatmodjo (1993:137)

Sehingga didapatkan persamaan:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \dots\dots\dots(2.10)$$

atau,

$$Q = A \cdot V = \text{konstan} \dots\dots\dots(2.11)$$

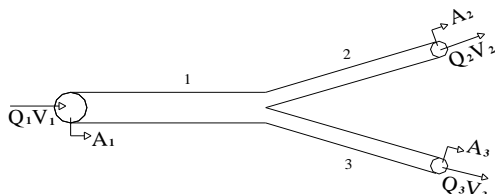
Dengan :

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

V_1, V_2 = kecepatan pada penampang 1 dan 2 (m/det)

A_1, A_2 = luas penampang pada penampang 1 dan 2 (m^2)

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



Gambar 2.4 Hukum Kontinuitas pada Pipa Bercabang

Sumber Triatmodjo (1993 : 137)

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

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

Atau

$$A_1 \cdot V_1 = (A_2 \cdot V_2) + (A_3 \cdot V_3) \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan :

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

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

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

Persamaan Hazen – Wiliams

Rumus ini pada umumnya dipakai untuk menghitung kerugian *head* dalam pipa yang relatif sangat panjang seperti jalur pipa penyalur air air minum.

Bentuk umum persamaan Hazen – Wiliams, yaitu :

$$hf = \frac{10.70Q^{1.85}}{C^{1.85}d^{4.87}} L \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

hf = kerugian gesekan dalam pipa (m)

Q = laju aliran dalam pia (m^3/s)

L = panjang pipa (m)

C = koefisien kekasaran pipa Hazen – Wiliams (diperoleh dari table 2. 3)

d = diameter pipa (m)

Sistem Pengaliran

Pada suatu sistem pengaliran jaringan perpipaan air bersih, terdapat tiga macam sistem pengaliran atau sistem hidraulika yaitu :

Sistem pengaliran gravitasi

Sistem ini digunakan apabila elevasi sumber air baku lebih tinggi dari pada elevasi daerah pelayanan dan sistem ini dapat memberikan energi potensial yang cukup tinggi pada daerah pelayanan terjauh.

Sistem pengaliran dengan pompa

Sistem ini digunakan apabila tekanan sumber air ke reservoir tidak mencukupi atau apabila elevasi daerah pelayanan lebih tinggi dari pada elevasi sumber air baku.

Sistem pengaliran kombinasi

Sistem ini merupakan kombinasi antara sistem gravitasi dengan sistem pompa. Sistem pompa digunakan untuk menaikkan air pada elevasi tertentu menuju reservoir atau *ground reservoir* hingga dapat menampung air dalam jumlah tertentu untuk kemudian didistribusikan secara gravitasi ke daerah layanan

3. METODE PENELITIAN

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data didapatkan dari :

- Pengumpulan data dari instansi terkait
- Pengumpulan data dari studi literatur
- Pengamatan lapangan.

Data yang diperoleh dikelompokkan menjadi 2 bagian :

Data Primer

Data primer yaitu data yang didapatkan langsung dari pengukuran di lapangan meliputi data kondisi sosial masyarakat serta data dokumentasi kondisi lapangan. Melalui data ini dapat dilihat kemampuan serta kemauan masyarakat untuk menunjang perancangan sistem penyediaan air bersih.

Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh dari instansi terkait dalam hal ini dari PDAM Kota Tual. Adapun data penunjang yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

1. Data kependudukan dan sosial ekonomi.
2. Data sistem penyediaan air bersih eksisting di lokasi, meliputi daerah pelayanan, tingkat pelayanan, kapasitas produksi eksisting, dan rencana pengembangan.
3. Data sumber air baku yang akan digunakan sebagai sumber air bersih, meliputi kualitas, kuantitas, dan kontinuitas, serta pemanfaatannya saat ini.
4. Peta lokasi sumber air baku dan rencana lokasi penempatan sistem jaringan penyediaan air bersih yang direncanakan.
5. Peta topografi lokasi studi.

Tahap Penelitian

Tahap-tahap yang dilakukan untuk melaksanakan penelitian ini adalah :

- a) Studi pustaka, mengumpulkan literatur serta teori-teori yang berkaitan dengan judul penelitian atau penelitian sebelumnya yang sejenis.

- b) Pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer didapat dengan cara melakukan pengukuran langsung di lapangan pada unit air baku dan produksi, serta melakukan dokumentasi kegiatan.
- c) Analisis data, dilakukan melalui 2 (dua) tahapan yaitu analisis teknis sistem eksisting dan analisis optimalisasi sistem setelah dilakukan beberapa modifikasi dan alternatif pengembangan sistem.
- d) Running jaringan eksisting untuk mengetahui kondisi dan kendala pada jaringan yang ada, sehingga didapat solusi perbaikan jaringan baik secara teknis maupun ekonomis.
- e) Modifikasi pengembangan jaringan bila hasil running belum optimal sesuai kriteria dan kebutuhan pelayanan dimasa mendatang, sesuai yang direncanakan.

4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Proyeksi Calon Pelanggan

Calon pelanggan yang akan dilayani kebutuhan air bersih berada di Kec. Dullah Selatan, berdasarkan data yang diperoleh pelayanan air bersih difokuskan kepada penduduk setempat perhitungan ini menggunakan 3 metode, yaitu Metode Geometrik, Aritmatik dan Eksponensial.

Data Jumlah Penduduk

Jumlah penduduk daerah layanan yang menjadi konsumen, berdasarkan data yang diperoleh dari Kec. Dullah Selatan mulai 2014 – 2018 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Jumlah Penduduk Kecamatan Dullah Selatan Tahun 2014 – 2018

No	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
1	2014	44060
2	2015	45266
3	2016	46796
4	2017	48541
5	2018	50523

Sumber : BPS (Badan Pusat Statistik) Kota Tual

Dari data jumlah penduduk (P_0) dan presentai kenaikan jumlah penduduk (r)

Kecamatan Dullah Selatan sedikitnya 5 tahun terakhir, maka dapat diproyeksikan jumlah penduduk pada tahun-tahun mendatang. Perhitungan angka kenaikan jumlah penduduk rata-rata dan proyeksi penduduk pada tahun 2019, dengan data jumlah penduduk pada tahun terakhir 2018 yang diperoleh dari *BPS (Badan Pusat Statistik)* Kota Tual sebagai berikut :

Tabel 4.2 Presentase Pertumbuhan Penduduk Kec. Dullah Selatan

Tahun	Jumlah Penduduk (P)	Presentase Kenaikan Jumlah Penduduk (r)
2013	44060	
2014	45266	2,74 %
2015	46796	3,38 %
2016	48541	3,73 %
2017	50523	4,08 %
r total =		13,93%
r rata-rata =		3,5 %

Sumber : Hasil Perhitungan

Uji Kesesuaian Metode Proyeksi Jumlah Penduduk

Untuk melakukan uji kesesuaian metode proyeksi jumlah penduduk perlu diproyeksikan terlebih dahulu dari tahun dasar 2014 sampai 2018 dengan menggunakan Metode Geometrik, Aritmatik dan Ekspensial (dapat dilihat di tabel 4.6), kemudian dihitung koefisien korelasi untuk menentukan metode yang akan digunakan untuk menghitung proyeksi jumlah pertumbuhan penduduk.

Tabel 4.6 Proyeksi Jumlah Penduduk Tahun 2018 – 2034

Tahun	Proyeksi Penduduk (Jiwa)		
	Geometrik	Aritmatik	Ekspensial
2018	52291	52291	52323
2019	54121	54060	54186
2020	56016	55827	56116
2021	57976	57596	58115
2022	60005	59364	60185
2023	62105	61133	62329
2024	64279	62901	64549
2025	66529	64669	66848
2026	68858	66438	69230
2027	71268	68206	71696
2028	73762	69974	74249
2029	76344	71743	76894
2030	79016	73511	79633
2031	81781	75279	82469
2032	84644	77048	85407
2033	87606	78816	88449

Sumber : Hasil Perhitungan

Pemilihan Metode Proyeksi pertumbuhan penduduk di atas berdasarkan cara pengujian statistik yakni berdasarkan pada nilai-nilai koefisien korelasi.

Rumus korelasi :

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left(n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right) \left(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right)}}$$

Dengan :

r : Koefisien korelasi

n : Jumlah data

x : Jumlah penduduk setiap tahun dari tahun dasar

y : Jumlah penduduk tiap tahun hasil proyeksi

Tabel 4.7 Uji Kesesuaian Metode Proyeksi Geometrik

Tahun	n	Jumlah Penduduk (Jiwa)	X	Y	XY	X ²	Y ²
2014	5	44060	44060	44060	1941283600	1941283600	1941283600
2015		45266	45266	45602	2064220132	2049010756	2079542404
2016		46796	46796	47198	2208677608	2189865616	2227651204
2017		48541	48541	48850	2371227850	2356228681	2386322500
2018		50523	50523	50560	2554442880	2552573529	2556313600
Total			235186	236270	11139852070	11088962182	11191113308
r			0.997422				

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.8 Uji Kesesuaian Metode Proyeksi Aritmatik

Tahun	n	Jumlah Penduduk (Jiwa)	X	Y	XY	X ²	Y ²
2014	5	44060	44060	44060	1941283600	1941283600	1941283600
2015		45266	45266	45602	2064220132	2049010756	2079542404
2016		46796	46796	47144	2206150624	2189865616	2222556736
2017		48541	48541	48686	2363267126	2356228681	2370326596
2018		50523	50523	50228	2537669244	2552573529	2522851984
Total			235186	235720	11112590726	11088962182	11136561320
r			0,995739577				

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.9 Uji Kesesuaian Metode Proyeksi Eksponensial

Tahun	n	Jumlah Penduduk (Jiwa)	X	Y	XY	X ²	Y ²
2014	5	44060	44060	44060	1941283600	1941283600	1941283600
2015		45266	45266	45629	2065442314	2049010756	2082005641
2016		46796	46796	47255	2211344980	2189865616	2233035025
2017		48541	48541	48938	2375499458	2356228681	2394927844
2018		50523	50523	50681	2560556163	2552573529	2568563761
Total			235186	236563	11154126515	11088962182	11219815871
r			0,997443764				

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan koefisien korelasi dengan menggunakan Metode Geometrik, Aritmatik dan Eksponensial maka diperoleh hasil bahwa Metode Eksponensial memiliki korelasi terbesar dan mendekati +1.

Proyeksi Kebutuhan Air Bersih

Proyeksi kebutuhan air bersih ditentukan berdasarkan faktor-faktor sebagai berikut :

1. Jumlah penduduk yang dilayani.
2. Pemakaian perkapita per orang.
3. Kebutuhan domestik dan non domestik.
4. Kebocoran air/kehilangan air baik pada system produksi maupun distribusi.
5. Kebutuhan yang belum terpenuhi secara penuh.
6. Peningkatan laju pemakaian air sejalan dengan peningkatan taraf hidup masyarakat.
7. Peningkatan mutu pelayanan.
8. Kebutuhan harian maksimum.

Pada dasarnya kriteria dalam perencanaan dalam system penyediaan air bersih suatu kota disesuaikan dengan kondisi setempat dan mengacu pada standar perencanaan normal.

Analisa Perhitungan Proyeksi Kebutuhan Air Bersih

Contoh perhitungan untuk tahun 2019 :

1. Total Produksi Air Bersih 143 l/dt

2. Jumlah penduduk Kec. Dullah Selatan tahun 2019 = 52323 jiwa
3. Tingkat konsumsi pelayanan Sambungan Rumah = 5 jiwa/SR
4. Pelayanan Kebutuhan Air Bersih pada tahun 2019 dapat dipenuhi sebesar 57% dari jumlah penduduk.
5. Jumlah Penduduk Yang Dilayani

$$= \frac{\text{Jumlah penduduk}}{\text{Jumlah jiwa per SR}} * \text{Jumlah Pelayanan}$$

$$= \frac{52323}{5} * 57\% = 5.965 \text{ unit} * 5 = 29.825 \text{ jiwa}$$
6. Kebutuhan Air Perkapita sebesar 130 liter/org/hr
7. Kebutuhan Air Domestik (Qd) Sambungan Rumah

$$= \text{Kebutuhan Air Perkapita} * \text{Jumlah penduduk yang dilayani}$$

$$= 130 * 29.825 = 3877250 \text{ lt/hr} = 44,88 \text{ l/dt}$$
8. Kebutuhan Air Non Domestik (Qn)
 Kebutuhan air non domestik diperhitungkan berdasarkan presentasi dari kebutuhan domestik dengan kategori 30% untu kategori kota kecil, kota sedang dan kota besar.
 Jadi kebutuhan air non domestik adalah :

$$= 30\% * (Qd)$$

$$= 30\% * 44,88 \text{ l/dt} = 13,46 \text{ l/dt}$$
9. Total Konsumsi

$$= (Qd) + (Qn) = 44,88 + 13,46 = 58,34 \text{ l/dt}$$
10. Kehilangan Air
 Kehilangan Air direncanakan 30% dari produksi

$$= 30\% * 58,34 \text{ l/dt} = 17,5 \text{ lt/dt}$$
11. Kebutuhan Air Rata – Rata (Qr)

$$= Qd + Qn + \text{Kehilangan Air}$$

$$= 44,88 \text{ l/dt} + 13,46 \text{ l/dt} + 17,5 \text{ l/dt} = 75,84 \text{ l/dt}$$
12. Kebutuhan harian maksimum (Qpeak)
 Pemakaian air pada harian maksimum diartikan sebagai pemakaian tertinggi pada hari tertentu selama satu tahun.

$$= (Qr) * 1.15 \text{ (faktor harian maksimum)}$$

$$= 75,84 \text{ l/dt} * 1.15 = 87,22 \text{ lt/dt}$$
13. Fluktuasi Pemakaian Air setiap jam
 Pada jam puncak pagi (pukul 06.00)

$$= (Qr) * 1,56 = 75,84 * 1.56 = 118,31 \text{ lt/dt}$$

(3) = (2) x fluktuasi pemakaian air bersih tiap jam.

(4) = Selisih pemakaian (2) – (3)

(5) = Kumulatif isi (5 + 4)

Untuk proyeksi kebutuhan air bersih hingga tahun 2034 dapat dilihat ditabel 4.10 berikut:

Tabel 4.10 Proyeksi Kebutuhan Air Bersih

No	Uraian	Satuan	Tahun															
			2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
1	Jumlah Penduduk	Jiwa	72322	74106	76116	78121	80131	82139	84149	86161	88172	90184	92197	94211	96226	98242	100259	102277
2	Jumlah Penduduk yang dilayani	%	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87
3	Jumlah Penduduk yang dilayani	Unit	5965	6394	6848	7322	7824	8332	8908	9492	10108	10754	11434	12149	12901	13690	14519	15398
4	Kebutuhan air perkotaan	m ³ /hr	29624	31970	34221	36612	39120	41760	44539	47462	50538	53772	57172	60748	64503	68449	72596	76955
5	Kebutuhan air domestik	m ³ /hr	3877	4156	4450	4760	5086	5429	5790	6170	6570	6990	7432	7897	8385	8898	9437	10000
6	Kebutuhan air non domestik	m ³ /hr	44.87	48.11	51.5	55.09	58.86	62.83	67.01	71.41	76.04	80.91	86.02	91.4	97.05	103	109.2	115.1
7	Total kebutuhan	m ³ /hr	34448	36683	38997	41492	44176	47056	50159	53499	57092	60944	65064	69461	74144	79124	84411	89916
8	Kebutuhan kebocoran	m ³ /hr	1512	1621	1678	1794	1851	1976	2032	2085	2135	2181	2232	2279	2329	2374	2424	2471
9	Kebutuhan air extra-urban	m ³ /hr	6923	724	7461	7821	8425	8924	9519	10107	10676	11226	11764	12292	12901	13490	14059	14609
10	Kebutuhan lahan maksimum	m ³ /hr	7235	8077	8582	9179	9732	10389	10993	11623	12278	12959	13667	14403	15169	15964	16790	17646
11	Kebutuhan air per jam peak	m ³ /hr	8731	9349	9933	10583	11278	12022	12825	13687	14618	15619	16690	17833	19048	20337	21702	23145
		m ³ /hr	10222	10957	11662	12452	13326	14295	15360	16521	17779	19136	20594	22154	23817	25594	27487	29508
		m ³ /hr	11813	12688	13477	14441	15488	16629	17864	19195	20624	22154	23786	25521	27360	29306	31361	33527

Kebutuhan Air Bersih Daerah Layanan Kecamatan Dullah Selatan

Daerah layanan kondisi eksisting pada studi ini dibagi menjadi 9 (sembilan) wilayah daerah pelayanan (zona pelayanan) :



Gambar 4.1 Skema Pelayanan Eksisting Wilayah Studi
Sumber: Google Earth

Analisa Kapasitas Reservoir

Dalam perencanaan distribusi air minum, air dari Instalasi Pengolahan Air disimpan dalam Reservoir sebelum didistribusikan. Hal ini dilakukan agar pengeluaran air dapat konstan. Penentuan kapasitas reservoir didasarkan pada produksi air sebesar 100%, sehingga produksi dibagi suplai air tiap jam 100/24 dari kebutuhan maksimum dengan menentukan waktu pengisian. Selain itu penentuan kapasitas reservoir juga dipengaruhi oleh fluktuasi dibagi penggunaan air yang setiap jamnya selalu berubah.

Penentuan daerah pelayanan ditentukan berdasarkan jaringan pipa primer yang ada tanpa mengurangi jumlah pelanggan pada kondisi saat ini. Daerah layanan pengembangan yaitu pada zona 4. Perhitungannya diawali dengan membagi saluran primer menjadi beberapa daerah layanan, mengetahui jumlah pelanggan pada setiap daerah layanan.

Sehingga dengan jumlah pelanggan dikalikan dengan kebutuhan per orang, maka diperoleh kebutuhan air pada masing-masing daerah layanan. Berikut merupakan pembagian daerah layanan dan kebutuhan airnya

Tabel 4.11 Fluktuasi Isi Reservoir Eksisting

Waktu (Jam)	Produksi (m ³)	Kebutuhan Air (m ³)	Selisih Isi (m ³)	Kumulatif
(1)	(2)	(3)	(4)=(2-3)	(5)=(5+4)
20.00-21.00	586.8	575.064	11.736	10.296
21.00-22.00	586.8	363.816	222.984	233.28
22.00-23.00	586.8	264.06	322.74	556.02
23.00-24.00	586.8	217.116	369.684	925.704
24.00-01.00	586.8	146.7	440.1	1365.804
01.00-02.00	586.8	176.04	410.76	1776.564
02.00-03.00	586.8	217.116	369.684	2146.248
03.00-04.00	586.8	264.06	322.74	2468.988
04.00-05.00	586.8	375.552	211.248	2680.236
05.00-06.00	586.8	674.82	-88.02	2592.216
06.00-07.00	586.8	915.408	-328.608	2263.608
07.00-08.00	586.8	897.804	-311.004	1952.604
08.00-09.00	586.8	827.388	-240.588	1712.016
09.00-10.00	586.8	821.52	-234.72	1477.296
10.00-11.00	586.8	809.784	-222.984	1254.312
11.00-12.00	586.8	745.236	-158.436	1095.876
12.00-13.00	586.8	704.16	-117.36	978.516
13.00-14.00	586.8	668.952	-82.152	896.364
14.00-15.00	586.8	686.556	-99.756	796.608
15.00-16.00	586.8	692.424	-105.624	690.984
16.00-17.00	586.8	715.896	-129.096	561.888
17.00-18.00	586.8	768.708	-181.908	379.98
18.00-19.00	586.8	809.784	-222.984	156.996
19.00-20.00	586.8	733.5	-146.7	10.296

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan :

(2) = Kapasitas Produksi 143 lt/dt : 24 = 541.8 m³

Tabel 4.13 Perhitungan Kebutuhan Air Pada Tiap Zona

zona	Jumlah Pelanggan (orang)	Kebutuhan/Org (l/hr)	Kebutuhan/Org (l/dt)	Kebutuhan Air Bersih (l/dt)
1	7.576	130	0.0015	11,36
2	17.680	130	0.0015	26,52
3	15.152	130	0.0015	22,73
4	10.115	130	0.0015	15,17
Total	50.523			75,78

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

- Total Jumlah Penduduk = 50.523 Jiwa
- Kebutuhan / Org = 130 : 86.400 = 0.0015
- Kebutuhan Air Bersih = Jumlah Pelanggan x Kebutuhan Per Orang

Pengembangan Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih

Sistem distribusi jaringan air bersih di Kecamatan Dullah Selatan menggunakan sistem gravitasi untuk melayani pelanggan. Untuk memenuhi kriteria perencanaan distribusi, ada beberapa hal yang harus diperhatikan. Kriteria tersebut yaitu tekanan sisa pada titik simpul (*junction*) berkisar 0,5 – 8 atm untuk pipa PVC, kehilangan tinggi tekan yang diijinkan berkisar 0 – 15 m/km dan untuk kecepatan aliran air dalam pipa berkisar 0,3 – 4,5 m/det.

Pengembangan pipa ini menggunakan jenis pipa PVC dengan nilai koef Hazen-Williams $C = 150$, sedangkan diameter pipa pengembangan menggunakan pipa 150 mm.

Pembahasan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan uji kesesuaian proyeksi penduduk untuk Kecamatan Dullah Selatan, metode Exponensial yang paling mendekati kebenaran, yaitu koefisien korelasinya mendekati 1 sebesar 0,997443. Metode Exponensial inilah yang akan digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk Kecamatan Dullah Selatan 15 tahun kedepan.
2. Dari hasil perhitungan kebutuhan air bersih pada tahun 2033 sebesar 150,5 lt/dt. Sedangkan untuk kebutuhan air pada jam puncak yaitu pada pukul 06.00 sebesar 277,1 lt/dt,
3. Dari hasil perhitungan, dibutuhkan kapasitas bangunan Reservoir sebesar 2.700 m^3 untuk memenuhi kebutuhan air bersih pada jam puncak.
4. Pengembangan sistem jaringan distribusi air bersih menggunakan pipa dengan diameter 150 mm, hal ini berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan pada jam puncak pukul 06.00 telah memenuhi kontrol tekanan, untuk kecepatan aliran (*velocity*) juga memenuhi kontrol kecepatan aliran.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan perencanaan Pengembangan jaringan distribusi air bersih di Kecamatan Dullah Selatan sampai tahun 2034, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perhitungan, dilihat dari suplai air sebesar 163 lt/dt masih mampu melayani kebutuhan air bersih di Kecamatan Dullah Selatan sampai tahun 2034
2. Berdasarkan hasil perhitungan, bangunan Reservoir yang ada berkapasitas 2.700 m^3 , mampu mencukupi kebutuhan jam puncak sampai tahun 2034 sebesar 277 l/dt.
3. Dari hasil simulasi program WaterCad V8i untuk pengembangan sistem jaringan distribusi air bersih di Kecamatan Dullah Selatan dipakai pipa berdiameter 150 mm, karena memenuhi kontrol tekanan.

Saran

Dari kesimpulan di atas penulis tidak lupa untuk memberikan saran-saran yang bersifat membangun demi kemajuan pelayanan air bersih di Kota Tual.

1. Seiring berjalannya waktu jumlah penduduk di Kecamatan Dullah Selatan terus bertambah maka diharapkan agar PDAM Kota Tual segera mencari sumber air baku baru agar bisa memenuhi kebutuhan air bersih setiap tahunnya.
2. Diharapkan untuk PDAM Kota Tual untuk selalu mengevaluasi kebutuhan air bersih , serta terjun langsung ke lapangan untuk mengetahui apakah pengaliran air dari PDAM sudah tercukupi untuk masyarakat atau belum.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2007. *Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 2007, tentang Organisasi Perangkat Daerah*. Jakarta.

- Bentley Methods 2007 *User's Guide WaterCAD v8 for Windows WATERBUY CT. USA: Bentley. Press*
- Djoko Sasongko, 1995 "*Teknik Sumber Daya Air*" Erlangga, Jakarta
- DPU Ditjen Cipta Karya. 1987. Buku Utama Sistem Jaringan Pipa. *Diktat Kursus Perpipaian Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya Direktorat Air Bersih.* Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Direktorat Air Bersih.
- DPU Ditjen Cipta Karya. 1994. *Pedoman Kebijakan Program Pembangunan Prasarana Kota Terpadu (P3KT).*
- Hidayat, Muhammad Alvan, Mohammad Taufiq, and Ery Suhartanto. 2014. *Studi Perencanaan Sistem Penyediaan Air Bersih Untuk Kecamatan Kubu Kabupaten Karangasem.* Jurnal Teknik Universitas Brawijaya. Universitas Brawijaya.
- Kodoatie, 2002 "*Hidrolika Terapan (Aliran pada saluran terbuka dan pipa), Edisi revisi*" Penerbit Andi, Yogyakarta
- Mandara, at. all (2013) "*melalui penelitiannya mengkaji mengenai community management dalam pengelolaan air pedesaan Tanzania*"
- Mirumachi an Wykt (2010) "*melalui risetnya mengkaji pemberdayaan actor di Afrika Selatan dalam kebijakan pengelolaan air*".
- Muliakusumah, Sutarsih. 2000. *Proyeksi Penduduk.* Jakarta: Fakultas Ekonomi UI. Priyantoro, Dwi. 1991. *Hidrolika Saluran Tertutup.* Malang: Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Ray K Lisle, Joseph B Franzini, 1991, "*Teknik Sumber Daya Air, Jilid II Edisi ke 3*", Erlangga, Jakarta
- Tigabu, et.al (2013), "*melalui risetnya mengkaji community participation dalam penyediaan air bersih di Ethiopia*".
- Totok Sutrisno, C., Dkk., 2002, "*Teknologi Penyediaan Air Bersih*", Rineka Cipta, Jakarta
- Triatmojo, B. 1996. *Hidrolika I*, Fakultas Teknik Universitas Gajahmada. Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 2003. *Hidrolika II.* Yogyakarta : Penerbit Beta Offset
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrolika II.* Yogyakarta: Beta Offset.
- Streater L Victor dan Wylie Benjamin, 1990, "*Mekanika Fluida jilid I*", Erlangga, Jakarta
- Webber, N. B. 1971. *Fluid Mechanics For Civil Engineering*, S. I. Edition. London: Chapman and Hall Ltd.
- Yu, et.al (2015) "*melalui risetnya meneliti permasalahan penyediaan air di Cina*"
- Yusuf, A. Muri. (2005). *Metodologi Penelitian.* Padang : UNP Press. www. Bimex.lu