

## BAB II

### TINJUAN PUSTAKA

#### A. Penelitian Terdahulu

Penelitian ini bukanlah penelitian yang pertama, ada beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang akan penulis lakukan, antara lain :

1. Nurnilam Oemiati, (2021) meneliti tentang “Analisa Faktor Kehilangan Energi Pada Distribusi Pipa Dari Booster Kertapati Sampai Kawasan Pasar”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kehilangan energi pada tiap belokan pipa, kehilangan energi akibat gesekan pipa dan untuk mengetahui kehilangan energi akibat perubahan penampang pipa di daerah layanan PDAM Tirta Musi Palembang Booster Kertapati sampai Kawasan Pasar Simpang Sungki. Hasil perhitungan yang didapat mengenai debit dan kecepatan aliran, kehilangan energi akibat belokan pada pipa ( $h_b$ ), kehilangan energi akibat gesekan pada pipa ( $h_f$ ), kehilangan energi akibat pengecilan penampang ( $h_m$ ), maka kehilangan energi total sejauh 71,47446 m pada titik I menuju J. Kehilangan energi terbesar akibat belokan pada pipa berada di titik J sebesar 0,86152 m dengan sudut belokan  $90^\circ$ . Sedangkan kehilangan energi terendah berada dititik G sebesar 0,01557 m dengan sudut yang sama. Berdasarkan perhitungan nilai terbesar kehilangan energi akibat gesekan terdapat pada titik I menuju J sejauh 70,61199 m dan nilai terendah terdapat pada titik C' menuju C sejauh 0,02340 m. Pada perubahan penampang pipa berdasarkan hasil

perhitungan, nilai kehilangan energi terbesar terletak diruas H menuju I sebesar 0,14417 m dengan diameter pipa  $\varnothing 0,2032$  m atau  $\varnothing 8$  inci dan  $\varnothing 0,1016$  m atau  $\varnothing 4$  inci, sedangkan kehilangan energi terendah terletak pada ruas B menuju C' dengan pipa  $\varnothing 0,2032$  m atau  $\varnothing 8$  inci dan  $\varnothing 0,1016$  m atau  $\varnothing 4$  inci kemudian  $\varnothing 0,2032$  m atau  $\varnothing 8$  inci dengan nilai yang sama yaitu 0,00001 m. Berdasarkan hasil analisa perhitungan debit aliran terendah terdapat di ruas pipa G menuju G' sebesar 0,00112 m<sup>3</sup>/dtk dengan sambungan rumah terjauh. Dapat disimpulkan bahwa semakin jauh sambungan rumah akan semakin kecil pula debit yang didapat, adapun solusi yang dapat dilakukan agar debit pada titik terjauh mendapatkan suplai air yang cukup adalah dengan menambahkan energi awal pada Booster cabang Kertapati dan dapat juga memperbarui jenis pipa (HDPE) sehingga dapat mengurangi kehilangan energi.

2. Waspodo, (2017) meneliti tentang “Analisa *HeadLoss* Sistem Jaringan Pipa Pada Sambungan Pipa Kombinasi Diameter Berbeda”. Hasil yang diperoleh kehilangan energi disebabkan beberapa faktor diantaranya kekasaran dinding pipa dan akibat gesekan melalui pipa belokan. Hasil analisa *Head Loss* dari Reservoir ke Pipa Distribusi didapat kehilangan tekanan maksimum tertinggi ada pada pipa dengan diameter paling kecil yaitu antara diameter berbeda 63 ke 50mm sebesar 0,40m ( $H_{L,rata-rata}$  komulatif), sedangkan tekanan maksimum paling rendah ada pada pipa besar, yaitu diameter 90 ke 63mm sebesar 0,07 ( $H_{L,rata-rata}$  komulatif). Tekanan yang hilang dari Reservoir ke Pipa Distribusi sebesar 5,73atm

dari tekanan fluida yang berada di Reservoir (5,8atm). Sedangkan hasil analisa *HeadLoss* dari Intake ke Reservoir tanpa kombinasi diameter berbeda didapat kehilangan tekanan maksimum diameter 90mm sebesar 8,48m ( $H_L$ komulatif). Tekanan yang hilang dari Intake ke Reservoir sebesar 0,164 atm dari tekanan fluida air awal (0,9atm).

3. Reynold Almadya, (2017) meneliti tentang “Analisis Kehilangan Energi Pada Pipa Transmisi SPAM Kecamatan Mempura”. Hasil yang diperoleh proyeksi pertumbuhan penduduk Kecamatan Mempura dengan menggunakan metode Geometrik mendapatkan hasil 27.262 jiwa pada tahun 2035. Kebutuhan air bersih penduduk Kecamatan Mempura pada tahun 2035 adalah sebesar 49 liter/detik. Berdasarkan tingkat air yang dapat dipenuhi sebesar 20 liter per detik diketahui bahwa hanya 40% kebutuhan yang dapat terlayani. Jaringan transmisi yang dianalisis merupakan jaringan lama yang akan dirancang menggunakan pipa HDPE, sepanjang 2079,56 meter yang dihubungkan dengan 56 titik simpul dengan 1 unit tangki IPA dan 1 unit pompa. Dari hasil simulasi diperoleh alternatif jaringan dengan Pompa yang digunakan adalah pompa NBG/NKG 2-pole untuk debit aliran 40 liter/detik.
4. Penelitian yang akan penulis lakukan berada di Desa Penusupan Kecamatan Randudongkal Kabupaten Pematang. Analisis perhitungan kehilangan energi akibat gesekan pipa, kehilangan energi akibat belokan pipa dan kehilangan energi akibat perubahan penampang.

## **B. Landasan Teori**

### **1. Air**

#### **a. Pengertian Air Bersih**

Air bersih merupakan suatu sarana utama untuk meningkatkan derajat kesehatan masyarakat, karena air merupakan salah satu media dari berbagai macam penularan penyakit, terutama penyakit perut. Untuk keperluan minum maka dibutuhkan air rata-rata sebesar 5 liter/hari, sedangkan secara keseluruhan kebutuhan air di suatu rumah tangga untuk masyarakat Indonesia diperlukan sekitar 60 liter/hari. Air bersih tidak hanya menjadi hal pokok bagi konsumsi dan sanitasi umat manusia, tapi juga untuk produksi barang industri. Air bersih merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki fungsi bagi kehidupan makhluk hidup (Joko T, 2010).

#### **b. Sumber Air**

Dalam memilih sumber air baku air bersih, maka harus diperhatikan persyaratan utama yang meliputi kualitas, kuantitas, kontinuitas dan biaya yang murah dalam proses pengambilan sampai pada proses pengolahannya. Beberapa sumber baku yang dapat digunakan untuk menyediakan air bersih dikelompokkan sebagai berikut :

##### **1) Sumber Air Sumur Dalam**

Sumur dalam adalah sumber air buatan manusia yang berupa lubang konsentris dari permukaan tanah sampai kedalaman

tertentu. Lubang tersebut biasanya menembus lapisan tanah yang relatif kedap air sehingga dapat mencapai ke kedalaman 100m. Sumur dalam yang ideal dapat menampung air tanah dari lapisan kepasiran yang bertransmisivitas tinggi. Lapisan kepasiran tersebut diapit oleh lapisan lempung yang mempunyai *storivitas* tinggi. Kapasitas sumur dalam dalam memberikan pasokan air tidaklah besar. Debit sumur dalam sebesar 20 l/s sudah dianggap besar. Produktivitas sumur dalam biasanya semakin menurun sesuai dengan berjalannya waktu. Ini terjadi manakala kapasitas simpan (*storivitas*) lapisan lempung yang mendukungnya semakin mengecil. Pada umumnya, kualitas air baku yang dihasilkan juga cukup bagus dan dapat diteruskan menjadi air minum dengan menambah proses klorinasi. Namun demikian pada beberapa kejadian beberapa bahan ikutan (*impurities*) memerlukan pengolahan lanjut, seperti besi, H<sub>2</sub>S, kapur, dsb. Pembuangan besi (Fe<sup>2+</sup>) dilakukan dengan proses aerasi dilanjutkan dengan proses sedimentasi dan filtrasi. H<sub>2</sub>S dibuang dengan cara aerasi. Sedangkan kapur (Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) dibuang dengan *prosed softening*. Air yang mengandung nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-1</sup>) dengan kadar lebih 10mg/L tak dapat dipakai sebagai air baku (BPSDM PU, 2018).

## 2) Sumber Air Mata Air

Mata air adalah tempat air tanah muncul di permukaan tanah. Kapasitas sumber mata air biasanya lebih besar sedangkan

kualitas pada umumnya lebih baik daripada sumur dalam. Kapasitas mata air kadang lebih besar karena *outlet* air tanahnya dapat lebih luas daripada sumur dangkal. Kualitas mata air pada umumnya bagus karena daerah imbuhan masih terjaga dari ancaman pencemaran. Pada awal munculnya sistem penyediaan air minum perkotaan, mata air merupakan sumber air baku utamanya. Hal itu terjadi karena penduduk masih sedikit kebutuhan air minum masih rendah dan ketersediaan sumber air masih banyak. Mata air pada umumnya berada pada elevasi yang lebih tinggi daripada daerah layanannya sehingga penyampaian air secara gravitasi masih memungkinkan (BPSDM PU, 2018).

### 3) Sumber Air dari Air Permukaan (Sungai, Danau, dan Waduk)

Sungai, Danau, dan Waduk adalah sumber air baku yang cukup andal karena kapasitasnya yang besar dan kontinuitasnya yang terjaga. Sebagian besar sumber air baku untuk air minum di Indonesia saat ini berasal dari air permukaan itu. Hampir semua sungai besar, danau, dan waduk di Pulau Jawa Telah dimanfaatkan untuk sumber air baku untuk air minum. Sungai Garang merupakan sumber air baku untuk SPAM Kota Semarang. Danau Rawapening adalah sumber air baku utama untuk kawasan permukiman dan industri di Kabupaten Semarang. Waduk Jatiluhur merupakan sumber air baku utama untuk Kota Jakarta (BPSDM PU, 2018).

### 4) Sumber Air dari Air Hujan

Air hujan sebenarnya bukan merupakan sumber air baku. Air hujan menjadi sumber air baku manakala telah tertampung ke dalam suatu wadah air seperti sungai, danau, dan waduk. Dibutuhkan suatu rekayasa untuk menjadikan air hujan menjadi air baku air minum. Waduk (bendungan), dan embung merupakan hasil rekayasa air baku yang diselenggarakan oleh negara atau perusahaan. Sedangkan penampungan air hujan (PAH) adalah wujud rekayasa air baku secara individual. Air hujan sebagai pasokan air baku air minum individual telah dipraktikkan di sepanjang pantai timur Sumatra yang berawa gambut atau payau. Masyarakat di lokasi itu menampung air hujan yang jatuh di atap rumahnya dan mengarahkannya ke dalam tangki-tangki beton yang berada di bawah lantai rumah. Tangki-tangki tersebut berfungsi sebagai fondasi rumah sekaligus sebagai tangki tando. Tinggi curah hujan sekitar 2500mm/y mendukung keefektifan cara itu (BPSDM PU, 2018).

## 2. Pipa

### a. Pengertian Pipa

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran dan digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh. Fluida yang dialirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas, dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer (Triatmodjo, B. 1996).

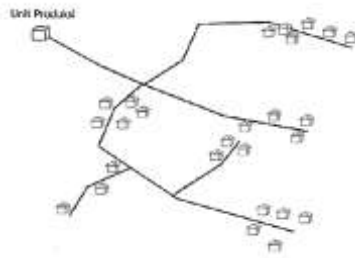
## b. Jaringan Pipa Distribusi

Jaringan pipa distribusi air bersih/air minum berfungsi untuk mengalirkan air dari unit produksi (Reservoir) ke pelanggan. Jaringan distribusi menggunakan pipa dengan aliran yang bertekanan, dimana disepanjang perpipaannya dihubungkan dengan sambungan pelanggan. Jenis sambungan pelanggan dapat berupa Sambungan Rumah (SR), sambungan Hidran Umum (HU) maupun sambungan untuk pelanggan usaha komersial. Jalur pipa distribusi biasanya ditanam mengikuti jalur jalan yang ada (BPSDM PU, 2018).

Sistem jaringan distribusi air bersih/air minum dibagi dalam beberapa jenis, seperti : Sistem cabang (*Branch*), Sistem Melingkar (*Loop*), Sistem Gridion, dan Sistem Radial. Pada dasarnya ada dua jenis sistem jaringan perpipaan distribusi yang banyak digunakan, yaitu : Sistem Cabang (*branched*) dan Sistem melingkar (*Loop*) (BPSDM PU, 2018).

### 1) Sistem cabang

Sistem cabang adalah sistem pendistribusi air bersih yang bersifat terputus membentuk cabang-cabang sesuai dengan daerah layan. Pada sistem ini air mengalir dalam satu arah dan area layan disuplai melalui satu jalur pipa utama (Sidik Fajar, 2016).

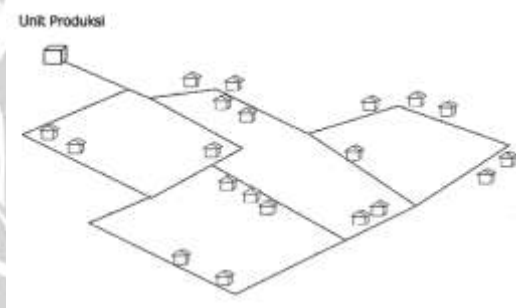


Gambar 2.1 Jaringan Pipa Distribusi Sistem Cabang

Sumber : BPSDM PU, 2018

2) Sistem *loop*

Sistem *loop* terdiri dari pipa-pipa utama dan sekunder yang saling berhubungan satu sama lain dan membentuk *loop* (melingkar).



Gambar 2.2 Jaringan Pipa Distribusi Sistem *Loop*

Sumber : BPSDM PU, 2018

c. Sistem Perpipaan

Sistem ini menggunakan pipa sebagai sarana pendistribusian air. Unit pelayanannya dapat menggunakan Sambungan Rumah (SR), Sambungan Halaman dan Sambungan Umum. Untuk mendistribusikan air bersih dengan perpipaan terdapat beberapa sistem pengaliran yang tergantung pada beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut adalah keadaan topografi, lokasi sumber air baku, dan elevasi daerah layanan. Sistem

pengaliran tersebut antara lain (Sidik Fajar, 2016) :

1) Pengaliran gravitasi

Sistem pengaliran dengan gravitasi dilakukan dengan memanfaatkan tekanan akibat beda elevasi muka tanah, dalam hal ini jika daerah pelayanan terletak lebih rendah dari sumber air. Diperlukan beda elevasi antara sumber dan daerah layanan yang cukup besar sehingga tekanan yang diperlukan dapat dipertahankan (Sidik Fajar, 2016).

2) Pengaliran pemompaan

Sistem pengaliran dengan pemompaan digunakan di daerah yang relatif datar dan tidak memiliki beda elevasi yang cukup besar. Distribusi air ke daerah layanan dengan mengandalkan tekanan dari pompa. Pada sistem ini tekanan sistem yang optimal perlu diperhitungkan sehingga tidak terjadi kelebihan atau kekurangan tekanan yang dapat mengganggu sistem pengaliran (Sidik Fajar, 2016).

3) Sistem kombinasi

Sistem ini merupakan sistem gabungan dari sistem gravitasi dan sistem pemompaan. Pada sistem ini, air sebelum didistribusikan terlebih dahulu ditampung di reservoir. Pendistribusian air dapat dilakukan melalui sistem gravitasi maupun sistem pemompaan. Rangkaian dari beberapa pipa dalam distribusi air bersih/ minum disebut jaringan pipa. Bentuk sistem jaringan perpipaan tergantung

pada pola jalan yang ada dan jalan rencana. Selain itu juga bergantung pada topografi, pola perkembangan daerah pelayanan dan lokasi instalasi pengolahan. Pada dasarnya ada dua pola sistem jaringan distribusi yaitu sistem cabang dan sistem *loop* (Sidik Fajar, 2016).

### 3. Kehilangan Energi (*Head Loss*)

Adanya kekentalan pada fluida akan menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan merubah sebagian energi aliran menjadi bentuk energi lain seperti panas, suara dan sebagainya. Pengubahan bentuk energi tersebut menyebabkan terjadinya kehilangan energi. Secara umum *head loss* dibagi menjadi dua macam, yaitu : *Head loss* mayor, terjadi akibat adanya ke kentalan zat cair dan turbulensi karena adanya kekasaran dinding batas pipa dan akan menimbulkan gaya gesek yang akan menyebabkan kehilangan energi di sepanjang pipa dengan diameter konstan pada aliran seragam. Kehilangan energi sepanjang satu satuan panjang akan konstan selama kekasaran dan diameter tidak berubah. *Head loss* minor, kehilangan energi akibat perubahan penampang dan aksesoris lainnya. Misalnya terjadi pada perubahan arah seperti pembelokan (*elbow*), bengkokan (*bends*), pembesaran tampang (*expansion*), serta pengecilan penampang (*contraction*). Kehilangan energi sekunder atau *head loss minor* ini akan mengakibatkan adanya tumbukan antara partikel zat cair dan meningkatnya gesekan karena turbulensi serta tidak seragamnya distribusi

kecepatan pada suatu penampang pipa. Adanya lapisan batas terpisah dari dinding pipa maka akan terjadi olakan atau pusaran air. Adanya olakan ini akan mengganggu pola aliran laminar sehingga akan menaikkan tingkat turbulensi. Dalam mencari nilai *head loss*, nilai dari faktor gesek juga diperlukan. Persamaan untuk mencari faktor gesek ( $f$ ) adalah sebagai berikut :

$$\text{Aliran Turbulen } f = \frac{0,316}{Re^{1/4}} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\text{Aliran Laminar } f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

Re = Angka Reynolds

a. Mencari Debit Aliran dan Kecepatan Aliran

Debit adalah suatu koefesien yang menyatakan banyaknya air yang mengalir dari suatu sumber persatuan waktu, biasanya diukur dalam satuan liter per/detik, untuk memenuhi keutuhan air pengairan, debit air harus lebih cukup untuk disalurkan ke saluran yang telah disiapkan (Dumiary, 1992).

Rumus yang digunakan adalah persamaan kontinuitas. Apabila kecepatan dan tampang aliran dapat dihitung maka debit aliran dapat dihitung, demikian pula jika kecepatan dan debit aliran sudah diketahui maka didapat tampang aliran untuk melewatkan debit tersebut, dengan kata lain saluran dapat ditetapkan.

Debit aliran melalui sistem pipa adalah hasil antara kecepatan aliran pada pipa dengan luas penampang pipa menurut Triatmodjo, B (1996) yang ditulis dengan persamaan :

$$Q = A \times V \text{ atau } V = Q/A \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

Q = debit aliran (m<sup>3</sup>/dtk)

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

V = Kecepatan aliran (m/dtk)

Karena luas penampang berbentuk lingkaran, maka rumus yang digunakan untuk mencari luas penampang yaitu :

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

π = 3,14 (Konstanta)

D = Diameter pipa (m)

Selain rumus *Manning*, di Indonesia juga sering menggunakan rumus *Chezy*, yaitu :

$$V = C \sqrt{R} \cdot I \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

V = Kecepatan aliran (m/dtk)

C = Koefisien Chezy yang tergantung pada kekasaran dinding

R = Jari –jari hidrolis (m)

I = Kemiringan garis tenaga

Rumus Bazin :

$$C = \frac{87}{1 + \gamma B / \sqrt{R}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

$\gamma B$  = Koefisien kekasaran dinding

b. Mencari Kehilangan Energi Akibat Gesekan pada Pipa

Kehilangan energi akibat gesekan pada pipa disebut juga kehilangan energi primer (Triatmodjo B, 1996). Kehilangan energi ini terjadi akibat adanya kekentalan zat cair atau turbulensi karena adanya kekasaran dinding yang dapat menimbulkan gaya gesek yang akan menyebabkan kehilangan energi sepanjang pipa pada aliran seragam. Adapun rumus yang digunakan untuk mencari kehilangan energi akibat gesekan air di dalam pipa berdasarkan persamaan dan metode *Darcy-weisbach*, yaitu :

$$hf = f \frac{L.V^2}{D.2g} \dots \dots \dots (2.7)$$

jika diketahui komponen debit (Q) dan luas penampang (A), maka persamaan diatas menjadi :

$$hf = \frac{8fL}{9\pi^2 D^5} Q^2 \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

hf = Kehilangan energi akibat gesekan air pada pipa

f = Koef. Gesek

L = Panjang pipa (m)

D = Diameter pipa (m)

Q = debit aliran (m<sup>3</sup>/dtk)

g = Gravitasi (m/dtk<sup>2</sup>)

untuk menentukan angka f maka, digunakan persamaan Angka *Reynolds* yang digunakan untuk menunjukkan sifat utama aliran, yaitu apakah aliran itu laminar, turbulen atau transisi :

$$Re = \frac{V.L}{\nu} \dots\dots\dots (2.9)$$

Untuk pipa bundar , maka nilai L diganti dengan diameter pipa (D), sehingga persamaan berubah menjadi :

$$Re = \frac{V.D}{\nu} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

Re = Angka Reynolds

D = Diameter pipa (m)

V = Kecepatan (m/dtk)

$\nu$  = Kekentalan kinematik air (air = 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/dtk)

Apabila :

Re < 2000 = Laminer

Re > 4000 = Turbulen

2000 < Re < 4000 = Transmisi (krisis)

Untuk mencari koefisien gesek pada pipa halus dapat menggunakan persamaan Blasius sebagai berikut :

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

f = Koef. Gesek

Re = Angka Reynolds

c. Mencari Kehilangan Energi Akibat Belokan pada Pipa

Kehilangan energi akibat belokan pada pipa tergantung pada sudut belokan itu sendiri dan dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$hb = kb \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

hb = Kehilangan energi pada belokan pipa (m)

kb = Koefisien kehilangan energy pada belokan pipa

V = Kecepatan (m/dtk)

g = Gravitasi (m/dtk<sup>2</sup>)

d. Mencari Kehilangan Energi Akibat Perubahan Penampang Pipa

Untuk mencari kehilangan energi akibat pembesaran penampang pipa menggunakan persamaan :

$$hm = k \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots (2.13)$$

Untuk mencari kehilangan energi akibat penyempitan penampang pipa menggunakan persamaan :

$$hc = kc \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

hm = Kehilangan energi akibat pembesaran penampang pipa

hc = Kehilangan energi akibat penyempitan penampang pipa

$$K = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

Kc = Tergantung nilai D2/D1

V1 = Kecepatan aliran di pipa hulu (m/dtk)

V2 = Kecepatan aliran di pipa hilir (m/dtk)

g = Gravitasi (m/dtk<sup>2</sup>)

D1 = Diameter pipa hulu (m)

D2 = Diameter pipa hilir (m)

