

# ANALISIS HIDROLIKA SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI AIR MINUM DI KOMPLEK PERUMAHAN P.T. PUSRI PALEMBANG MENGUNAKAN EPANET 2.0

A. Ramadhan

Mahasiswa Program S-1 Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya  
Korespondensi penulis: apri3ramadhan@gmail.com

## Abstrak

Besarnya jumlah kebutuhan pelanggan PT. Pusri Palembang dari tahun ke tahun menuntut adanya maksimalisasi dalam hal pelayanan pemenuhan kebutuhan air bersih. Salah satu bentuk kegiatannya mengidentifikasi sistem jaringan distribusi dengan menggunakan pipa yang telah ada, apakah kebutuhan akan air minum dapat dipenuhi. Daerah kompleks perumahan PT. Pusri Palembang merupakan daerah yang sudah menerapkan sistem pengaliran selama 24 jam. Untuk menganalisis jaringan yang ada di daerah tersebut diperlukan metode penelitian yaitu tinjauan langsung kelapangan, pengumpulan data dan pengolahan data. Dalam pengolahan data dilakukan dengan metode manual menggunakan metode Hardy-Cross dan menggunakan bantuan program EPANET 2.0. Setelah dilakukan perhitungan dengan memasukkan data-data berupa data kebutuhan, peta jaringan, karakteristik pipa, karakteristik pompa, pola pengaliran selama 24 jam, hasil dari kedua metode tersebut tidak terlalu jauh perbedaannya. Tetapi dari segi kecepatan analisis dan keakuratan, EPANET 2.0 dianggap lebih mumpuni. Berdasarkan hasil simulasi jaringan pipa yang telah ada, jaringan tersebut masih mampu melayani kebutuhan air bersih. Dimana berdasarkan metode luasan rumah, besar kebutuhan air untuk perumahan tersebut yaitu 2,44 liter/hari/m<sup>2</sup>. Namun berdasarkan aspek kecepatan aliran yang masih lebih rendah dari 0,6 m/s mengakibatkan adanya aliran yang laminar. Sehingga perlu dioptimalisasikan pada diameter pipa yang telah ada.

**Kata kunci:** Air Bersih, Metode, Data, EPANET 2.0.

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan ataupun tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung di minum (Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010).

Berdasarkan konsep RPAM (Rencana Pengamanan Air Minum), diharapkan dapat tercapai pelayanan air minum yang memiliki syarat kualitas, yaitu standar air minum yang sesuai dengan Permenkes No 429/Menkes/Per/V/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, kemudian secara kuantitas pasokan air minum mengacu pada Standar Kebutuhan Pokok Air Minum sebesar 10 m<sup>3</sup> per kepala keluarga per bulan atau 60 liter per orang per hari (Permendagri Nomor 23 Tahun 2006).

Sejak mulai di bangunnya sistem penyediaan air minum di kompleks perumahan P.T. Pusri, masih terdapat masalah mengenai hal tersebut seperti, kapasitas produksi, tingkat kebocoran air, optimalisasi jaringan yang belum maksimal. Oleh karena itu, kebutuhan air minum di kompleks tersebut harus direncanakan untuk jangka waktu yang lama sehingga dapat diketahui berapa banyak pelanggan yang akan menggunakan air minum tersebut.

### 1.2. Perumusan Masalah

Permasalahannya antara lain :

- Apakah kebutuhan yang diproduksi sesuai dengan perhitungan air bersih menggunakan metode luasan.
- Apakah jaringan pipa air minum yang sudah ada mampu melayani kebutuhan pelanggan.
- Bagaimana cara melakukan analisis jaringan pipa air minum dengan menggunakan program EPANET 2.0

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini, antara lain mengidentifikasi sistem jaringan distribusi dengan menggunakan pipa yang telah ada, apakah kebutuhan akan air minum dapat dipenuhi. Dan melakukan simulasi dengan menggunakan program EPANET 2.0 untuk kondisi seluruh perumahan di kawasan ini.

### 1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah menganalisis perilaku hidrolika sistem jaringan distribusi air minum perumahan P.T. Pusri selama 24 jam dengan menggunakan program EPANET 2.0 dan Metode Hardy-Cross. Metode kebutuhan berdasarkan luasan dan persamaan Hazen Williams.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

- Tauhid Ichyar, dkk. (2005) telah melakukan penelitian tentang Jaringan Pipa Transmisi Air Minum di Kecamatan Medan Helvetia.
- Al Amin (2011) telah melakukan penelitian melalui analisis hidraulika air dalam sistem jaringan pipa dengan cara perhitungan manual menggunakan metode Hardy Cross dan Newton-Raphson.
- Syarifah Melly Maulina (2012) telah melakukan penelitian tentang Perencanaan Penyediaan Air Minum Di Kota Sanggau.

### 2.2 Dasar Teori

#### Analisa Jaringan Pipa

Swamme (2008), Menunjukkan persamaan kontinuitas untuk aliran mantap dalam pipa lingkaran dengan diameter  $D$  adalah :

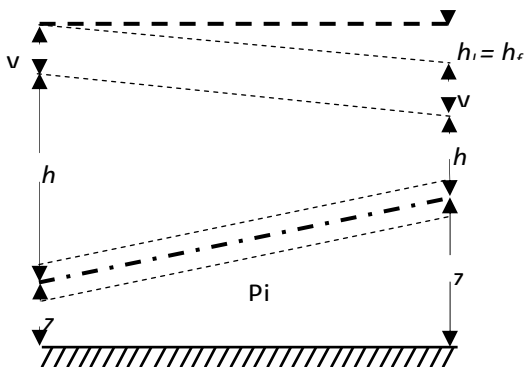
$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 V \quad \dots(1)$$

dimana  $V$  adalah kecepatan aliran rata-rata (m/det),  $Q$  adalah debit aliran (m<sup>3</sup>/det),  $D$  adalah diameter pipa (m).

sedangkan persamaan energi untuk aliran mantap sesuai dengan Gambar 2.4 di bawah adalah :

$$z_1 + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + hL \quad (2)$$

dimana  $z_1$  dan  $z_2$  adalah elevasi di titik 1 dan 2 (m),  $h_1$  dan  $h_2$  adalah energi tekanan (m),  $v_1$  dan  $v_2$  adalah kecepatan aliran rata-rata pada penampang 1 dan 2 (m/s),  $hL$  adalah kehilangan energi antara penampang 1 dan 2.



Gambar 1. Sketsa aliran melalui pipa

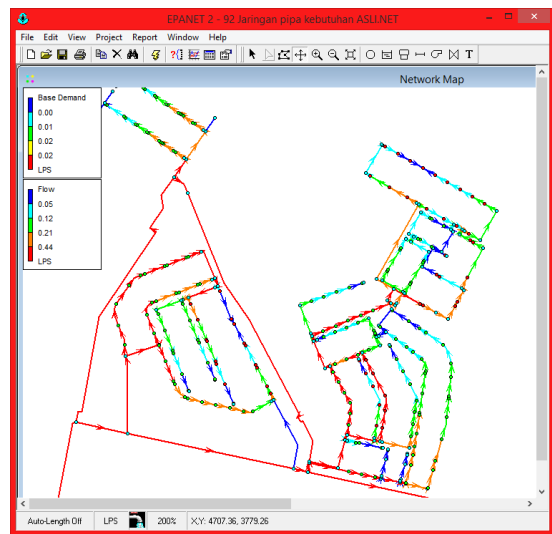
Kehilangan energi akibat gesekan dengan dinding pipa di aliran seragam dapat dihitung dengan persamaan Hazen-Williams sebagai berikut :

$$h_f = 10,654 \left( \frac{Q}{C_{HW}} \right)^{0,54} \frac{1}{D^{4,87}} L \quad (3)$$

dimana  $h_f$  adalah hilang tinggi tekanan karena gesekan (*friction*) (m),  $L$  adalah panjang pipa (m),  $Q$  adalah Debit (m<sup>3</sup>/dt),  $g$  adalah gravitasi (m/dt<sup>2</sup>),  $V$  adalah kecepatan aliran (m/det).

### Program EPANET 2.0

Lewis A. Rossman (2000), menjelaskan bahwa EPANET adalah program komputer yang menggambarkan simulasi hidrolis dan kecenderungan kualitas air yang mengalir di dalam jaringan pipa. Jaringan itu sendiri terdiri dari Pipa, Node (titik koneksi pipa), pompa, katub, dan tangki air atau reservoir. EPANET menjajaki aliran air di tiap pipa, kondisi tekanan air di tiap titik dan kondisi konsentrasi bahan kimia yang mengalir di dalam pipa selama dalam periode pengaliran. Sebagai tambahan, usia air (*water age*) dan pelacakan sumber dapat juga disimulasikan.



Gambar 2. Tampilan EPANET 2.0

Lewis A. Rossman (2000) juga menjelaskan bahwa EPANET di design sebagai alat untuk mencapai dan mewujudkan pemahaman tentang pergerakan dan nasib kandungan air minum dalam jaringan distribusi. Juga dapat digunakan untuk berbagai analisa berbagai aplikasi jaringan distribusi. Sebagai contoh untuk pembuatan design, kalibrasi model hidrolis, analisa sisa khlor, dan analisa pelanggan. EPANET dapat membantu dalam manage strategi untuk merealisasikan kualitas air dalam suatu system.

### 3. METODOLOGI

#### 3.1. Studi Pendahuluan dan Literatur

Studi pendahuluan dan literatur bertujuan untuk mencari data baik berupa tulisan-tulisan ilmiah, diktat-diktat, buku-buku, maupun internet yang akan digunakan untuk menganalisa hidrolika menggunakan EPANET 2.0 dan kebutuhan air minum dalam jaringan distribusi air minum di kompleks perumahan PT. Pusri Palembang

#### 3.2. Tinjauan Lapangan

Melakukan studi peninjauan langsung ke lokasi penelitian. Pada penelitian ini lokasi yang ditinjau adalah Komplek Perumahan P.T. Pusri Palembang.

#### 3.3. Pengumpulan Data

Mengumpulkan data yang berhubungan dengan jaringan pipa air Komplek Perumahan P.T. Pusri Palembang. Ada dua macam data yang diperoleh, yaitu data primer dan data sekunder.

#### 3.4. Pengolahan Data

Setelah data yang diperlukan telah terkumpul, kita dapat melakukan analisa. Analisa ini dilakukan dengan EPANET 2.0.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### DATA PRIMER

Tabel 1. Data Debit Harian

No.	Tanggal	Debit Ke Perumahan (m <sup>3</sup> )
1	1 April 2014	332
2	2 April 2014	244
3	3 April 2014	216
4	4 April 2014	408
5	5 April 2014	540
6	6 April 2014	564
7	7 April 2014	565
8	8 April 2014	408
9	9 April 2014	328
10	10 April 2014	360
11	11 April 2014	396
12	12 April 2014	384
13	13 April 2014	336
14	14 April 2014	368
15	15 April 2014	336
16	16 April 2014	296
17	17 April 2014	352
<b>Total</b>		<b>6433</b>
<b>Rata-rata</b>		<b>378,41</b>

Sumber : Divisi Utilitas P.III PT. Pusri Palembang

Berikut ini merupakan gambar peta lokasi dan jaringan pipa pada Komplek Perumahan PT. Pusri dengan menggunakan Program AutoCAD :



Gambar 3. Peta Lokasi Komplek Perumahan PT. Pusri

Jenis pipa yang digunakan P.T. Pusri untuk kompleks perumahannya yaitu *High Density Polyethylene* (HDPE). Untuk diameter pipa yang digunakan yaitu pipa 6 inci, 4 inci dan 2,5 inci. Sedangkan untuk panjang pipa bervariasi mulai dari 1 m sampai 551,93 m, untuk data lengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

#### Berdasarkan data debit keluar di perumahan

Pada jumlah pemakaian air di setiap titik, pembagiannya dilakukan dengan membagi total debit aliran yang keluar di *Filter Water Tank* terhadap jumlah sambungan rumah (SR).

Untuk jumlah kebutuhan air pada tiap rumah, berasal dari pencatatan kubikasi yang telah dilakukan oleh P.T. Pusri. Total kubikasi pada Perumahan P.T. Pusri adalah 6443 m<sup>3</sup>/17 hari atau 378,41 m<sup>3</sup>/hari dengan jumlah pelanggan sebanyak 274 pelanggan. Sehingga kebutuhan air pada tiap rumah adalah :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air tiap rumah} &= \frac{378,41 \text{ m}^3/\text{hari}}{274 \text{ SR}} \\ &= 1,38 \text{ m}^3/\text{hari/SR} \\ &= 1380 \text{ liter/hari/SR} \end{aligned}$$

#### Berdasarkan Metode Luasan

Menurut Mays (1999), kebutuhan air untuk *Medium-density Residential* metode luasan sebesar 2610 galon/hari/acre. Luasan ini melayani rumah permanen dimana satu luasan langsung melayani sambungan rumah. Untuk kebutuhan air sambungan rumah 2610 galon/hari/acre dikonversikan ke liter/hari/m<sup>2</sup>, sehingga

kebutuhan air satu luasan rumah menjadi sebesar 2,44 liter/hari/m<sup>2</sup>.

1 galon = 3,7854 liter

1 acre = 4046,86 m<sup>2</sup>

Kebutuhan air 1 Luasan Rumah

$$= 2610 \text{ galon/hari/acre} \times 3,7854$$

$$= 9879,89 \text{ l/hari/acre}$$

$$= \frac{9879,89}{4046,86} \text{ l/hari/acre}$$

$$= 2,44 \text{ liter/hari/m}^2$$

Berdasarkan dua metode diatas maka diambil Jumlah pemakaian air di setiap sambungan rumah menurut data debit yang keluar ke perumahan yaitu sebesar 2,44 liter/hari/m<sup>2</sup>.

Tabel 2. Rekapitulasi kebutuhan air di tiap titik

Tipe Luasan Rumah	Nomor Sambungan Rumah	Luasan Per Sambungan Rumah (m <sup>2</sup> )	Total Kebutuhan (l/sr/detik)
A1	SR 1-10, SR 20-27	685,92	0,0194
A2	SR 28-38	700,45	0,0198
A3	SR 11-19, SR 39-45	749,96	0,0212
A4	SR 47-58	702,15	0,0198
A5	SR 69-61, SR 97-99	597,00	0,0169
A6	SR 62-67	336,47	0,0095
A7	SR 68-69, SR 94-96	378,77	0,0107
A8	SR 71-78, SR 85-93	474,50	0,0134
A9	SR 79-84	419,47	0,0119
A10	SR 100-105	564,18	0,0159
A11	SR 106-110	713,49	0,0202
A12	SR 111-115	748,53	0,0212
A13	SR 116-124	582,00	0,0164
A14	SR 125-134	548,99	0,0155
A15	SR 135-144	657,39	0,0186
A16	SR 171-178	519,60	0,0147
A17	SR 145-151	722,38	0,0204
A18	SR 152-155	781,49	0,0221
A19	SR 179-184	510,43	0,0144
A20	SR 159, SR 169-170	797,76	0,0225
A21	SR 157-164	725,38	0,0205
A22	SR 165-167	1152,35	0,0326
A23	SR 185-198	623,95	0,0176
A24	SR 199-212	634,33	0,0179
A25	SR 212-274	435,16	0,0123

## Pola Kebutuhan Air Perumahan

Tabel 3. Pola pemakaian air tiap jam

No	Jam ke-	Faktor puncak
1	1	0,57
2	2	0,40
3	3	0,31
4	4	0,27
5	5	0,33
6	6	0,37
7	7	0,71
8	8	1,41
9	9	1,61
10	10	1,47
11	11	1,43
12	12	1,37
13	13	1,30
14	14	1,17
15	15	1,08
16	16	1,04
17	17	1,08
18	18	1,16
19	19	1,40
20	20	1,37
21	21	1,17
22	22	1,02
23	23	1,10
24	24	0,92

Sumber : Nemanja Trifunovic (2006)

## Data Pompa

*Head Design* (tekanan) pada pompa yang digunakan oleh PT. Pusri sebesar 88,09 mka dan *Flow Design* (aliran) sebesar 50,472 liter/detik. Pompa tersebut lebih banyak digunakan untuk distribusi pembuatan pupuk dan hanya sebagian kecil yang dialirkan ke kompleks perumahan PT. Pusri.

## Analisis Menggunakan Program EPANET 2.0

Untuk analisa sistem jaringan distribusi air bersih dengan menggunakan program EPANET 2.0 dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan cara Single Period dan Extended Period Simulation. Pada single period proses analisa distribusi kebutuhan air bersih dianggap sama setiap jamnya dan alirannya mantap, sedangkan pada extended period simulation analisa distribusi kebutuhan air bersih berbeda-beda pada tiap waktu. Dalam analisa perencanaan ini digunakan sistem extended period simulation.

Dalam pengolahan data pada program EPANET 2.0 diperlukan beberapa asumsi, yaitu :

1. Kondisi jaringan dan kualitas air dianggap baik.
2. Seluruh Pipa menggunakan jenis HDPE dan angka kekasaran pipa dihitung menurut persamaan *Hazen-Williams*.
3. Kebutuhan air setiap jaringan rumah ditinjau berdasarkan produksi total *Filter Water Tank* menggunakan metode luasan rumah.

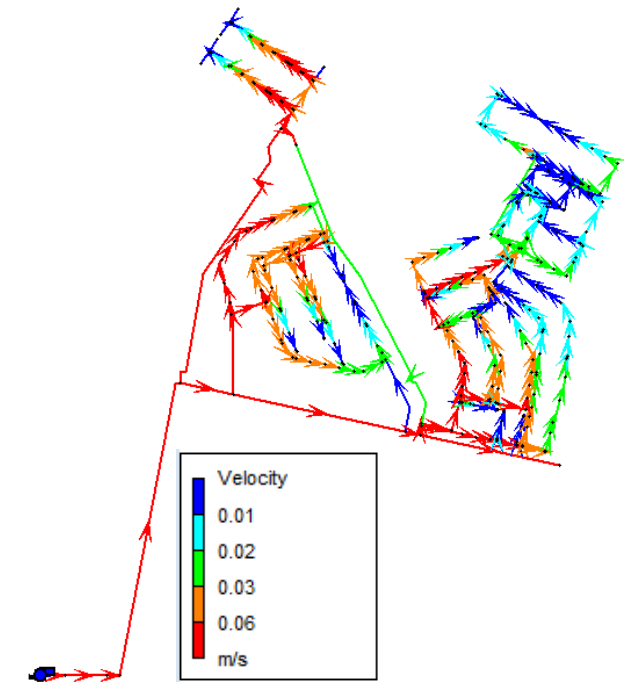
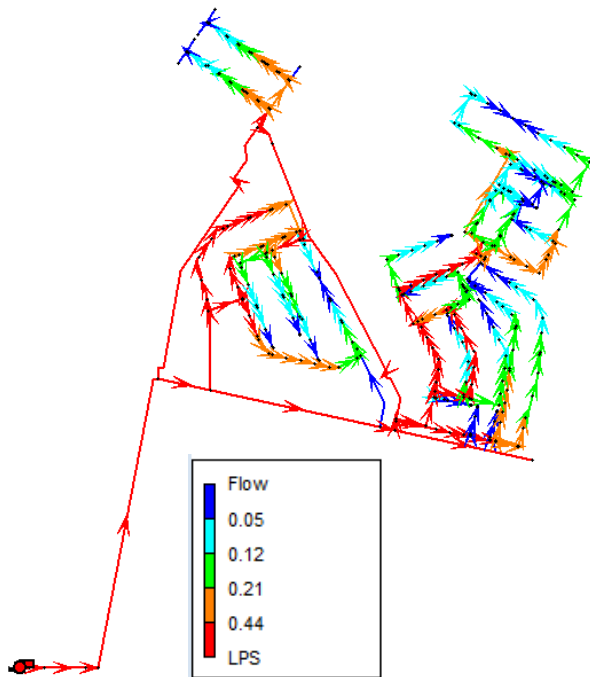
4. Reservoir dilapangan dimodelkan berupa tampungan dengan kondisi penyediaan air tidak terbatas berapapun kebutuhan selama 24 jam reservoir dapat memenuhi.
5. Pompa dilapangan dimodelkan dengan debit dan tekanan sesuai data spesifikasi pompa yang didapat dari PT. Pusri.

Adapun langkah kerja yang dilakukan untuk memulai analisa dengan program EPANET 2.0 adalah sebagai berikut (Lewis A. Rossman, 2000) :

- a. Pembuatan project baru.
- b. Pengaturan program.
- c. Penggambaran skema jaringan distribusi air bersih.
- d. Input data komponen jaringan distribusi air bersih.
- e. Input data pola kebutuhan air.
- f. Simulasi program.
- g. Interpretasi hasil simulasi.

Setelah program dijalankan, maka selanjutnya melihat hasil simulasi. Hasil simulasi dapat diakses berupa tabel, grafik, dan peta parameter jamnya.

### Hasil Simulasi

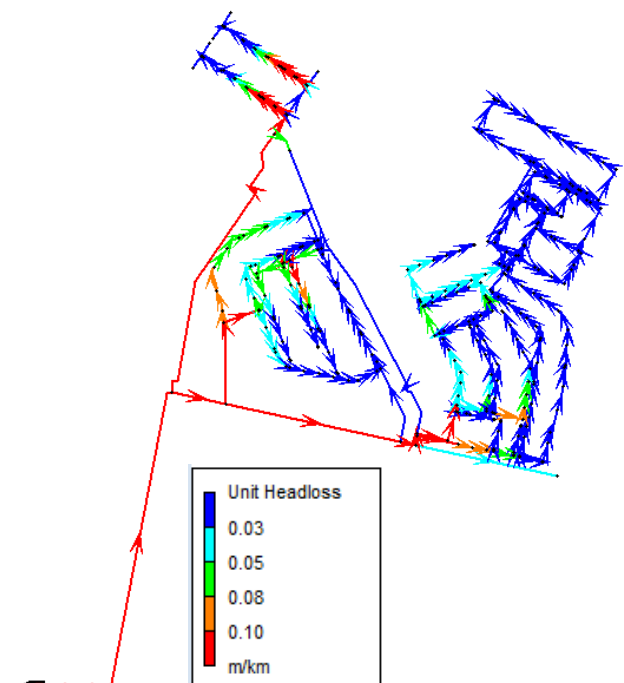


Gambar 5. Hasil Simulasi kecepatan di tiap pipa pada jam puncak

Pada hasil simulasi Gambar 5, kecepatan aliran yang terbesar terdapat pada pipa 1 sebesar 0,4 m/detik. Kecepatan aliran terdapat pada pipa 60 sebesar 0.01 m/detik.

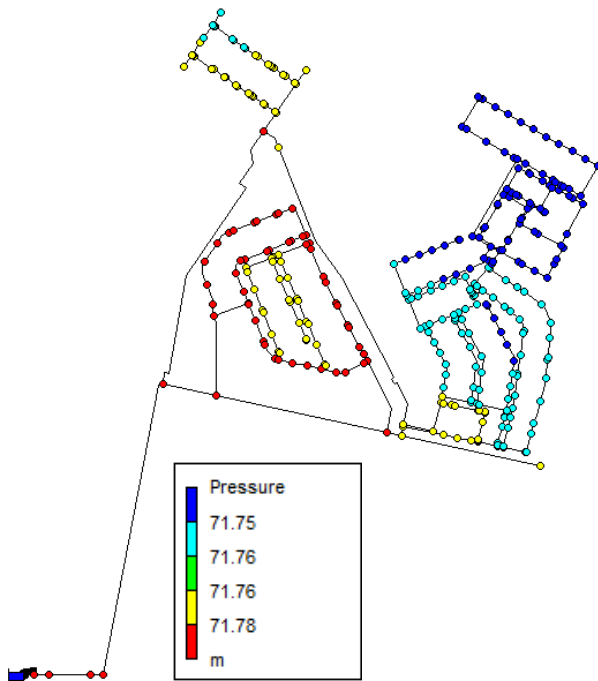
Gambar 4. Hasil Simulasi debit di tiap pipa pada jam puncak

Pada hasil simulasi Gambar 4, debit yang terbesar terdapat pada pipa 1 sebesar 7.27 l/detik. Debit terendah terdapat pada pipa 19 sebesar 0.01 l/detik.



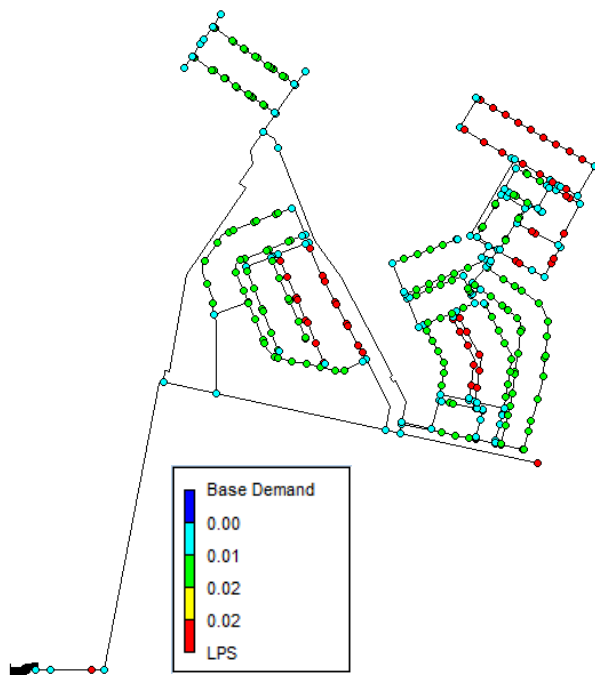
Gambar 6. Hasil Simulasi kehilangan tekanan di tiap pipa pada jam puncak

Pada hasil simulasi Gambar 6, kehilangan tekanan yang terbesar terdapat pada pipa 1 sebesar 1,04 m/km. Kehilangan tekanan terdapat pada pipa 15 sebesar 0.01 m/km.



Gambar 7. Hasil Simulasi Tekanan di tiap pipa pada jam puncak

Pada hasil simulasi Gambar 7, tekanan yang terbesar terdapat pada titik 1 sebesar 71.16 mka. Tekanan terdapat pada titik 169 sebesar 70.44 mka.



Gambar 8. Hasil Simulasi kebutuhan air di tiap pipa pada jam puncak

Pada hasil simulasi Gambar 8, kebutuhan air yang terbesar terdapat pada titik 5 sebesar 0.03 l/detik. Kebutuhan air terdapat pada titik 89 sebesar 0.02 l/detik.

Secara umum hasil dari simulasi dengan EPANET 2.0 pada penyaluran air dapat dilakukan dengan baik, dimana air dapat dialirkan ke semua junction dengan tekanan dan debit tertentu sesuai besarnya debit air kebutuhan. Walaupun semua bisa di penuhi, tetapi ada beberapa kriteria yang masih harus dipenuhi. American Water Works Assosiation (AWWA) (2005), menyebutkan kriteria tersebut yaitu :

a. Kecepatan

- Tidak lebih rendah dari 0,6 m/s untuk mencegah sedimentasi
- Tidak lebih dari 3 m/s untuk mencegah pengikisan dan ketinggian kehilangan tekanan.
- Kecepatan aliran umumnya digunakan adalah 1 - 1,5 meter / detik.

b. Tekanan

- Tekanan dalam sistem distribusi kota berkisar 150-300 kPa di daerah pemukiman dengan struktur dari empat kriteria atau kurang dan 400-500 kPa di distrik komersial.
- Untuk hidran kebakaran tekanan tidak boleh kurang dari 150 kPa (15 m air).
- Secara umum untuk setiap node dalam jaringan tekanan disyaratkan tidak boleh kurang dari 25 mka.
- Selain itu, tekanan maksimum harus dibatasi sampai 70 m air

c. Ukuran Pipa

- Jaringan pipa yang menyediakan air untuk kebutuhan domestik mungkin sekecil 100 mm (4 in) tapi tidak boleh lebih dari 400 m panjang (jika *dead-ended*) atau 600 m jika terhubung ke sistem pada kedua ujungnya.
- Jaringan pipa sekecil 50-75 mm (2-3 in) kadang-kadang digunakan di komunitas kecil dengan panjang tidak lebih dari 100 m (jika *dead-ended*) atau 200 m jika terhubung pada kedua ujungnya (*loop*).
- Ukuran pipa untuk daerah populasi sedang yaitu 150 mm (6 in) dengan pipa induk tidak lebih dari 180 m.
- Untuk daerah yang tingkat populasinya tinggi ukuran minimum pipa adalah 200 mm (8 in) dengan pipa induk maksimum yang sama. Jaringan pipa utama tidak kurang dari 305 mm (12 in) untuk diameternya.

d. Kehilangan Tekanan

- Kisaran optimum adalah 1-4 m / km.
- Kehilangan tekanan maksimum tidak boleh melebihi 10 m / km.

### Evaluasi Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih

Dari pembahasan di atas, masih terdapat pipa yang kecepatan alirannya laminar. Untuk itu harus dievaluasi dan diganti agar kecepatan aliran tersebut tidak lagi laminar.

### 5. KESIMPULAN

Dari hasil analisa data pada jaringan pipa air bersih di Komplek Perumahan PT. Pusri Palembang, dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Berdasarkan hasil simulasi jaringan pipa yang telah ada, jaringan tersebut masih mampu melayani kebutuhan air bersih. Dimana berdasarkan metode luasan rumah, besar kebutuhan air untuk perumahan tersebut yaitu 2,44 liter/hari/m<sup>2</sup>.
2. Dari hasil simulasi program EPANET 2.0, kriteria desain yang ada pada jaringan tersebut masih belum memenuhi. Seperti kecepatan aliran yang masih lebih rendah dari 0,6 m/s. Ini dikarenakan diameter pipa yang belum dimaksimalkan sehingga ada beberapa aliran yang laminar.

Dalam hal ini, penulis ingin menyampaikan saran yang mungkin bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa pada khususnya :

1. Dalam melakukan penelitian dengan menggunakan program komputer, sebaiknya menggunakan program komputer yang fiturnya lengkap agar mendapatkan hasil yang akurat.
2. Sebaiknya setiap rumah yang ada pada kompleks Perumahan PT. Pusri dilengkapi dengan meteran supaya dapat mengontrol kebutuhan air tiap perumahan.

### DAFTAR PUSTAKA

- 1) Al Amin, Baitullah., 2011, *Komputasi Analisis Hidraulika Jaringan Pipa Air Minum*, Jurnal Universitas Sriwijaya, Palembang.
- 2) American Water Works Association, 2005, *Computer Modeling of Water Distribution Systems*, Denver.
- 3) Ichyar, Tauhid., 2005, *Analisis Hidrolis Jaringan Pipa Transmisi Air Minum di Kecamatan Medan Helvetia*, Jurnal Atrium, Vol. 02, No. 03. Desember : 42-50
- 4) Joko, Tri., 2010, *Unit Air Baku Dalam Sistem Penyediaan Air Minum*, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- 5) Kodoatie, Robert J., 2002, *Hidrolika Terapan Pada Saluran Terbuka dan Pipa*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- 6) Maulina, Syarifah Melly., 2012, *Perencanaan Penyediaan Air Minum Di Kota Sanggau*, Jurnal Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- 7) Mays, Larry W., 1999, *Water Distribution Systems Handbook*, Department of Civil Environmental Engineering Arizona State University, Arizona.
- 8) Soedrajat S, A., 1983, *Mekanika Fluida dan Hidrolika*, Bandung, Penerbit Nova, Bandung.
- 9) Swamme, Prabhata K. dan A. K. Sharma, 2008, *Design of Water Supply Pipe Networks*, Wiley Interscience, New Jersey.
- 10) Rossman, Lewis A., 2000, *EPANET 2 Users Manual (Versi Bahasa Indonesia)*, EKAMITRA Engineering, Cincinnati.
- 11) Triatmadja, Radianta., 2009, *Hidrolika Sistem Jaringan Perpipaan Air Minum*, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.
- 12) Tifunovic, Nemanja., 2006, *Introduction to Urban Water Distribution*, Taylor and Francis/Balkema, Netherlands.