

# PEMANFAATAN PEMETAAN TEMATIK UNTUK ANALISIS KEBOCORAN JARINGAN PIPA DISTRIBUSI DI PDAM DEMAK

Bambang Sudarsono, Arief L. Nugraha \*)

## Abstract

*Problems that are often faced by water companies, particularly in PDAM Demak are water leaks in the distribution channel. The problem became a threat resulting considerable loss to PDAM Demak. The problem requires a solution to help the PDAM Demak to analyze the distribution pipelines become more optimal.*

*One method used to solve the pipeline leakage in the distribution network PDAM Demak is doing thematic mapping distribution pipeline represents the actual field conditions. Furthermore the results of thematic mapping is processed through Geographic Information Systems (GIS) can be simulated distribution of water flow conditions to determine the level of water leakage occurs. Simulation results, which is done through software EPANET 2.0, a reference to find out which areas have a tendency to water leaks. The area can be mapped on a thematic map that has been built so as to provide information areas prone to leak water in PDAM Demak.*

*Thematic mapping of distribution pipeline is done by GPS navigation survey. The mapping produces a thematic maps as a basemap for water distribution simulation process. Simulation results illustrate that the village Sidomulyo into areas prone to water leakage with the highest rate of water loss is 24,50% from 44.022 m<sup>3</sup> of water production in December 2012.*

*Key words : Thematic Mapping, Water Leaks, Pipeline*

## Pendahuluan

### Latar Belakang

Kepuasan pelanggan merupakan salah satu parameter bagi PDAM Demak untuk menilai kinerjanya. Beragam karakteristik pelanggan PDAM Demak menjadi permasalahan tersendiri. Mulai keluhan pelayanan, keluhan aliran air, sampai keluhan rekening yang selalu menjadi permasalahan tersendiri bagi PDAM (PDAM Demak, 2011). Ujung dari persoalan tersebut terletak pada tingkat kebocoran jaringan pipa distribusi. Kebocoran akan menyebabkan kerugian yang sangat besar jika telah melebihi 20% dari total distribusi air (Pasila dkk, 2002). Dengan permasalahan tersebut, PDAM Demak perlu untuk meninjau jaringan pipa distribusi pelayanan sehingga mengetahui secara tepat dan cermat akan kondisi aliran air pada jaringan pipa distribusinya.

Penanganan kebocoran jaringan pipa distribusi PDAM, memiliki tingkat kesulitan yang cukup tinggi, baik disisi teknis maupun diperencanaannya. Secara teknis, kebocoran dapat diidentifikasi langsung dengan keberadaan rembesan/luapan air pada jaringan pipa distribusi, yang kemudian dapat diselesaikan dengan penanganan secara langsung di lapangan. Namun bila kebocoran jaringan pipa sangat kecil, ataupun kebocorannya akibat dari dicurinya air dari pelanggan langsung tentunya akan sulit diketahui. Hal tersebut dibutuhkan penanganan perencanaan, dimana dengan perencanaan dan divalidasi di lapangan akan menghasilkan simulasi aliran air di jaringan pipa distribusi. Hasil simulasi tersebut merepresentasikan kondisi kenyataan yang ada pada jaringan pipa distribusi tersebut, sehingga dapat dilihat kebocorannya jika dibandingkan dari data simulasi dengan data pemakaian air di pelanggan.

Untuk dapat menghasilkan simulasi yang baik dan benar-benar merepresentasikan kondisi kenyataan yang ada, perlu untuk dilakukan pemetaan tematik jaringan pipa distribusi. Hasil peta tematik jaringan pipa distribusi yang ditambahkan dengan informasi pendukung dari jaringan pipa tersebut yang diproses melalui sistem informasi geografis akan menghasilkan kondisi kenyataan yang ada di lapangan. Dari hasil SIG jaringan pipa distribusi, kemudian dilakukan simulasi menggunakan software EPANET 2.0 akan menghasilkan simulasi aliran air dari jaringan pipa distribusi. Hasil simulasi EPANET 2.0 dan SIG jaringan pipa distribusi PDAM dapat dijadikan *tools* untuk mengetahui kondisi dan letak daerah yang mengalami kebocoran air, sehingga dapat dijadikan acuan pengambilan keputusan dari pemangku kebijakan di PDAM Demak terkait jaringan pipa distribusi tersebut.

Dalam menganalisis kebocoran pipa pada jaringan distribusi PDAM Demak, diperlukan teknik pemetaan yang dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya di lapangan. Selanjutnya, dengan peta tematik jaringan pipa distribusi PDAM dan ditambahkan informasi dari atribut-atribut informasi pipa melalui metode SIG menghasilkan *backdrop* yang sangat membantu dalam simulasi melalui EPANET 2.0 untuk mengetahui sebab kebocoran dan lokasi referensi kebocorannya.

Dalam penelitian ini, peta tematik jaringan pipa distribusi menggunakan GPS navigasi, dan pengolahan SIG menggunakan MapInfo 9.0, serta untuk kebutuhan analisis simulasi menggunakan EPANET 2.0.

\*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Geodesi  
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Daerah studi hanya sebatas pada jaringan pipa distribusi PDAM Demak di kecamatan Wonosalam dengan mengambil sampel pipa primer dan pipa sekunder.

#### Tujuan dan Manfaat

##### 1. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui manfaat yang dihasilkan dari pemetaan tematik jaringan pipa distribusi dan analisis SIG dari pemetaan tersebut untuk mendeteksi penyebab dan lokasi dimana terjadinya kebocoran.

##### 2. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Memberikan alternatif informasi kebocoran pipa melalui pemetaan tematik jaringan pipa distribusi.
- Memberikan acuan bagi pemangku kebijakan dalam pengambilan keputusan untuk penanggulangan kebocoran di jaringan pipa distribusi PDAM Demak wilayah Wonosalam.

#### Dasar Teori

##### 1. Jaringan Distribusi

Sistem distribusi adalah sistem yang langsung berhubungan dengan konsumen, yang mempunyai fungsi pokok mendistribusikan air yang telah memenuhi syarat ke seluruh daerah pelayanan. Sistem ini meliputi unsur sistem perpipaan dan perlengkapannya, hidran kebakaran, tekanan tersedia, sistem pemompaan, dan reservoir distribusi. Sistem distribusi air minum terdiri atas perpipaan, katup-katup, dan pompa yang membawa air yang telah diolah dari instalasi pengolahan menuju pemukiman, perkantoran dan industri yang mengonsumsi air.

Ada tiga metode dalam jaringan pipa yaitu (Al Layla, 1980 dalam Fatmawati, 2008) :

##### a. Sistem cabang

Sistem ini sama seperti cabang pada pohon dengan pipa utama, pipa sekunder yang dihubungkan dengan gedung.

##### b. Sistem gridiron

Pada metode ini semua pipa tersambung dan tidak ada yang terputus pada ujungnya. Air dapat menjangkau lebih seluruh tempat.

#### Fluktuasi Penggunaan Air

Fluktuasi penggunaan air bersih adalah variasi penggunaan air yang dilakukan oleh konsumen dari waktu ke waktu dalam skala jam, hari, minggu, bulan, dan tahun yang hampir secara terus-menerus. Penggunaan air bersih ada kalanya lebih kecil daripada kebutuhan rata-ratanya dan ada kalanya sama atau lebih besar daripada rata-ratanya.

Kebutuhan Harian Rata-Rata merupakan rata-rata pemakaian air dalam satu hari baik untuk kebutuhan domestik maupun non domestik.

Kebutuhan Hari Maksimum merupakan kebutuhan air dalam satu hari yang terbesar dalam waktu kurun waktu satu tahun.

Kebutuhan Jam Puncak merupakan kebutuhan air dalam satu jam yang terbesar dalam kurun waktu satu hari.

##### 2. Kebocoran Air

Kebocoran dan pembuangan air adalah dua jenis kehilangan air yang harus diperhitungkan dalam mengelola sistem penyediaan air bersih yang baik. Kehilangan air digolongkan menjadi dua (Fatmawati, 2008), yaitu :

##### a. Kehilangan Air Tercatat

Kehilangan air tercatat merupakan sebagian besar dari salah satu rangkaian operasi dan pemeliharaan sistem penyediaan air minum.

##### b. Kehilangan Air Tak Tercatat

Kehilangan air tak tercatat adalah kehilangan air yang dapat berupa kebocoran nyata dan kebocoran tidak nyata.

##### 3. Peta

Peta adalah gambar atau lukisan keseluruhan atau pun sebagian permukaan bumi baik laut maupun darat.

Beberapa definisi peta menurut para ahli adalah sebagai berikut :

- Peta adalah gambaran atau representasi unsur-unsur ketampakan abstrak yang dipilih dari permukaan bumi yang ada kaitannya dengan permukaan bumi atau benda-benda angkasa, yang pada umumnya digambarkan pada suatu bidang datar dan diperkecil/diskalakan (Kraak & Ormeling, 2007).
- Peta merupakan wahana bagi penyimpanan dan penyajian data kondisi lingkungan, merupakan sumber informasi bagi para perencana dan pengambilan keputusan pada tahapan dan tingkatan pembangunan nasional.
- Peta merupakan gambaran permukaan bumi dengan skala tertentu, digambar pada bidang datar melalui sistem proyeksi tertentu (Prihandito, 1994).
- Peta tematik adalah peta yang memperlihatkan informasi kualitatif dan atau kuantitatif pada unsur-unsur tertentu (Prihandito, 1994). Unsur-unsur tersebut berhubungan dengan detail topografi yang akan ditonjolkan. Keterangan disajikan dengan gambar atau simbol-simbol yang memiliki tema tertentu atau kumpulan dari tema-tema yang berhubungan antara yang satu dengan yang lainnya.

Kemudian yang dimaksud dengan pemetaan adalah proses untuk mendapatkan peta. Proses tersebut dapat dilakukan dengan bermacam-macam cara dan teknik pengukuran. Metode pengukuran yang sering dipakai dalam proses pemetaan adalah pengukuran total station, pengukuran GPS, pengukuran waterpass, dan lain-lainnya.

Sedangkan pemetaan tematik merupakan proses pengukuran untuk mendapatkan data-data khusus yang disesuaikan dengan tema pengukuran tersebut. Sebagai contoh pemetaan tematik jaringan pipa distribusi, mempunyai maksud melakukan pemetaan posisi jaringan pipa distribusi yang ada di lapangan untuk keperluan tertentu dan skala tertentu.

#### 4. SIG (Sistem Informasi Geografis)

SIG adalah Sistem yang berbasis komputer yang digunakan untuk Input, menyimpan, analisis/ manipulasi dan *display* data spasial, untuk pemecahan problema terkait kebumiharian (Prahasta, 2001).

Kondisi yang ada sekarang ini bahwa PDAM melakukan pengelolaan jaringan secara manual, dimana jaringan perpipaan di wilayah pelayanan dituangkan dalam lembar-lembar gambar. Selain itu belum ada integrasi antara gambar dan data, sehingga informasi hanya sebatas pada data-data sekunder tanpa mampu menganalisa data-data tersebut menjadi informasi (misalnya informasi hidrolis, sistem tekanan, debit dll.).

Sistem Informasi Geografis (SIG/GIS) dimungkinkan dimanfaatkan untuk menangani sistem distribusi air bersih di wilayah pelayanan PDAM. Adanya Sistem Informasi Geografis (SIG/GIS) untuk pengelolaan sistem distribusi air bersih ini diharapkan akan lebih meningkatkan kinerja PDAM yang lebih efisien, efektif dan meningkatkan pelayanan kepada pelanggan di wilayahnya.

#### 5. EPANET

EPANET adalah salah satu *software* distribusi yang *user friendly* dan banyak digunakan untuk menganalisa jaringan sistem distribusi. EPANET 2.0 adalah program komputer yang berbasis *windows* yang merupakan program simulasi yang didalamnya terdiri dari titik/*node/*junction pipa, pompa, *valve* dan *reservoir* baik *ground reservoir* maupun *reservoir* menara (Zaman, 2008).

*Output* yang dihasilkan dari program EPANET 2.0 ini antara lain debit yang mengalir dalam pipa, tekanan air dari masing masing titik/*node/*junction yang dapat dipakai sebagai analisa dalam menentukan operasi instalasi, pompa dan *reservoir*.

### Data dan Metodologi

#### Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Peta Jaringan Jalan Kecamatan Wonosalam
2. Sketsa posisi jaringan pipa PDAM Wonosalam
3. Data atribut : Data diameter pipa, data kebutuhan air tiap pelanggan pada bulan Agustus 2013, data pemakaian air per jam selama satu minggu data Produksi dan Distribusi Air 2012-2013

#### Metodologi

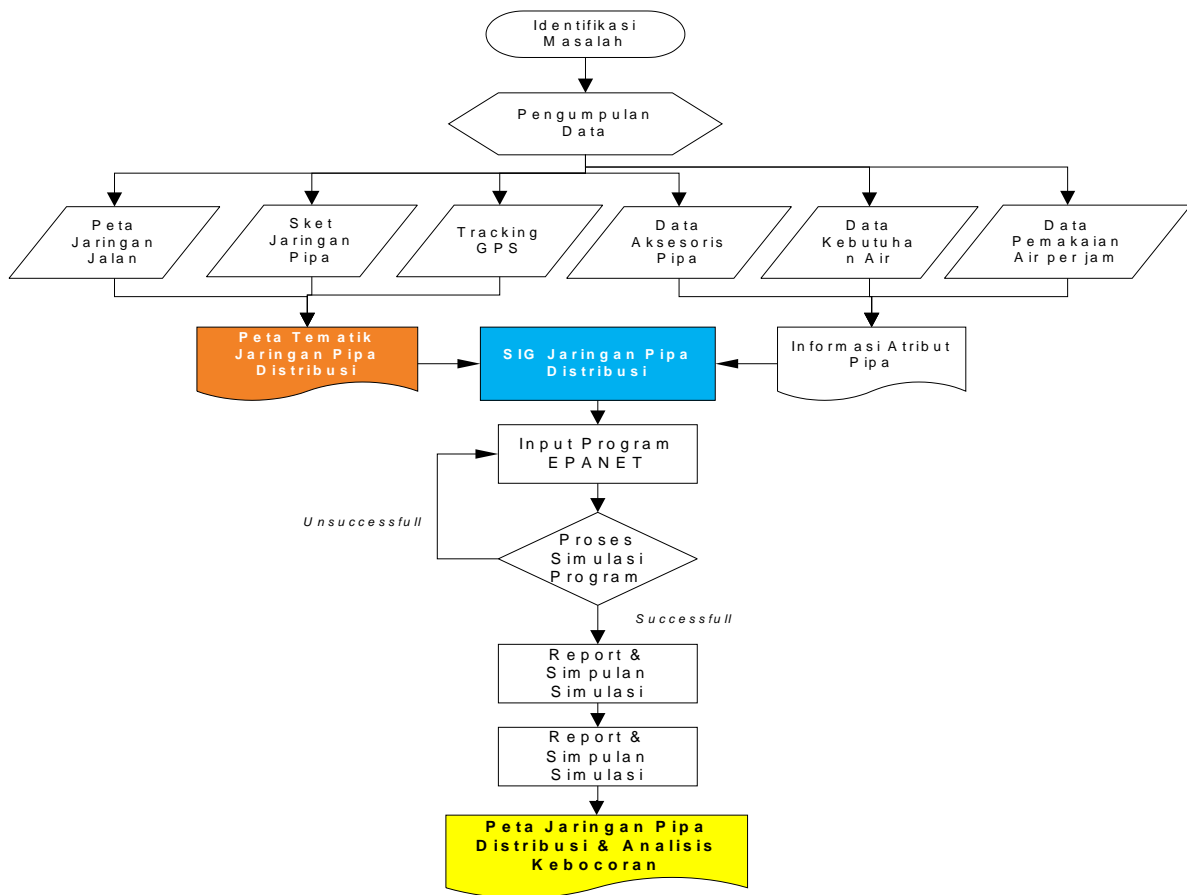
Dalam penelitian ini, ada tiga tahap untuk mengetahui kebocoran jaringan pipa PDAM. Tahap pertama adalah pemetaan tematik jaringan pipa distribusi PDAM, tahap kedua pembuatan SIG jaringan pipa distribusi PDAM, dan tahap yang terakhir adalah simulasi aliran air dari jaringan pipa distribusi PDAM menggunakan EPANET 2.0, selanjutnya dengan adanya report dari proses simulasi tersebut akan dapat diidentifikasi daerah mana yang rawan akan kebocoran.

Metodologi tersebut dapat dijabarkan seperti pada gambar 1, dengan penjelasan sebagai berikut :

##### 1. Pemetaan Tematik Jaringan Pipa Distribusi

Pemetaan tematik jaringan pipa distribusi merupakan data dasar spasial yang nantinya berperan dalam proses simulasi aliran air pada jaringan pipa tersebut. pemetaan ini sendiri menemui beberapa kendala, yaitu belum adanya sumber peta jaringan pipa distribusi yang jelas, dan hanya pegawai PDAM yang lebih mengetahui secara persis posisi pipa-pipa di lapangan. Teknik yang memungkinkan untuk mengatasi kendala tersebut yaitu dengan melakukan *tracking* GPS di lapangan dengan acuan sketsa jaringan pipa dan didampingi langsung oleh pegawai PDAM yang mengetahui detail posisi pipa.

Hasil *tracking* GPS dari survey jaringan pipa distribusi di-*overlay*-kan dengan peta jaringan jalan untuk dapat dilihat situasinya sesuai dengan kondisi di lapangan. Hal ini dilakukan karena GPS yang digunakan bertipe navigasi yang mempunyai akurasi 3-5 meter. Dengan akurasi tersebut memungkinkan kesalahan dalam posisi pipa bisa berakibat kesalahan orientasi, misalnya bahwasannya jaringan pipa berada di kanan jalan namun ketika di-*overlay* berada di kiri jalan.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

Hasil yang didapat dalam proses ini yaitu peta jaringan distribusi pipa PDAM yang digambarkan dengan proses kartografi sehingga menampilkan kondisi jaringan pipa distribusi sesuai dengan kondisi di lapangan.

### 2. Pembentukan SIG Jaringan Pipa Distribusi

Hasil pengumpulan data yang dilakukan berupa data spasial dan data atribut. Hasil data spasial disajikan dalam bentuk peta tematik jaringan pipa distribusi, sedangkan data atribut disajikan dalam bentuk informasi atribut pipa. Informasi atribut pipa merupakan informasi yang berkenaan dengan pipa dan informasi tentang produksi dan pemakaian air yang melalui jaringan pipa tersebut. penggabungan antara dua data yang dihasilkan menghasilkan SIG jaringan pipa distribusi. SIG menggunakan MapInfo sebagai media dalam penggabungan tersebut. Dasar penggabungan tersebut yaitu menggunakan ID pipa dan posisi pipa sehingga memperlihatkan kelengkapan informasi jaringan pipa distribusi dalam bentuk peta yang lebih lengkap dan informatif.

### 3. Pemodelan Simulasi Jaringan Pipa Distribusi

Metode yang digunakan dalam analisis pendistribusian air bersih yaitu dengan memakai program EPANET versi 2.0. Program tersebut merupakan program komputer (EPA-Software) dengan plat-

form *Windows* yang dapat melakukan simulasi periode tunggal atau majemuk pada jaringan pipa. Dengan analisis simulasi dapat melacak aliran air (*flow*) pada pipa, tekanan (*pressure*) disetiap titik (*node*) (Rossman & Lewis, 2000).

Survei GPS navigasi dengan metode *tracking* dilakukan untuk pemetaan jaringan pipa distribusi dan melengkapi *input* data *node* pada sistem pengoperasian jaringan di EPANET 2.0. Informasi yang dibutuhkan untuk melengkapi simulasi pemodelan jaringan pipa distribusi adalah informasi elevasi di setiap *node*.

Untuk memperoleh simulasi, diperlukan *backdrop* untuk mendapatkan jalur-jalur pipa dan titik *valve* dengan informasi yang mumpuni untuk mendapatkan hasil simulasi yang sesuai dengan lapangan. Dengan adanya hasil pembentukan SIG jaringan pipa distribusi maka *backdrop* untuk EPANET 2.0 lebih mudah dilakukan dimana SIG yang terbentuk telah sesuai dengan kondisi lapangan yang ada. Bila dalam pengeplotan dari *backdrop* tidak ada penemuan kendala maka hasil simulasi dapat dihasilkan *report* simulasi. Hasil *report* itulah yang menjadi bahan untuk menganalisis kebocoran dalam jaringan pipa tersebut dan dengan bantuan SIG dapat diketahui acuan lokasi kebocorannya.

## Hasil dan Analisis

### Hasil Peta Jaringan Pipa Distribusi

Dengan didapatnya data spasial hasil *tracking* GPS dan data jaringan jalan yang ditumpangtindihkan menghasilkan peta situasi mengenai jaringan pipa distribusi sesuai dengan hasil lapangan. Hasil akhir yang diperoleh dalam pemetaan tematik jaringan pipa distribusi disajikan dalam sebuah peta yang dibuat dengan dasar-dasar kartografi, seperti pada gambar 2. Peta tersebut menghasilkan peta yang informatif bagi karyawan PDAM Demak untuk mengetahui secara detail posisi sebenarnya dari jaringan pipa distribusinya.



Gambar 2. Hasil Peta Tematik Jaringan Pipa Distribusi

### Hasil SIG Jaringan Pipa Distribusi

Hasil pemetaan tematik dari jaringan pipa distribusi dituangkan dalam bentuk digital dengan menambah informasi atribut pipa menghasilkan SIG jaringan pipa distribusi. Hasil SIG ini sangat membantu karyawan PDAM Demak untuk selanjutnya melakukan perencanaan kedepannya dalam melengkapi jaringan pipa distribusi sehingga mampu melayani keseluruhan dari daerah layanan PDAM Demak, dalam hal ini kecamatan Wonosalam.

SIG ini juga dapat dimanfaatkan untuk inventarisasi pipa-pipa jaringan dengan kelengkapan informasi pipanya, sehingga pemeliharaan pipa dapat dipantau dengan informasi dari pipa tersebut seperti bahan pipa, tahun pemasangan, dan diameter pipa.

### Hasil Simulasi Jaringan Pipa Distribusi

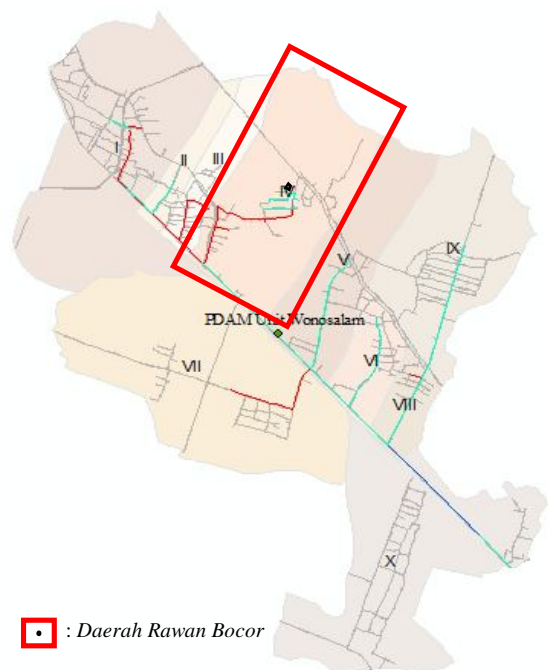
Kondisi pelayanan PDAM Unit Wonosalam tahun 2012 adalah 2.380 pelanggan dengan pemakaian air sebesar  $65.205 \text{ m}^3$  dalam waktu satu bulan. Pendistribusian air bersih di Unit Wonosalam dibagi menjadi 10 (sepuluh) zona pelayanan yang tersebar di beberapa desa yaitu desa Kadilangu, Botorejo, Sidomulyo, Pilangrejo, Tlogorejo, Kerangkulon, Mojo, Kalianyar, dan Bunderan.

Dengan kondisi jaringan pipa dan informasi distribusi pelayanan air dilakukan simulasi pemodelan jaringan pipa distribusi dengan hasil pada kondisi jam puncak atau pemakaian tertinggi yaitu sebagai berikut :

- Terjadi kondisi *pressure* tertinggi sebesar 59,91 m
- Terjadi kondisi *head* tertinggi sebesar 89,82 m pada node 2.
- Terjadi kondisi *flow* (debit aliran) tertinggi sebesar 8,54 LPS
- Terjadi kondisi *velocity* (kecepatan aliran) tertinggi sebesar 0,92 m/s
- Terjadi kondisi *Unit headloss* (kehilangan tekanan) tertinggi sebesar 35,70 m/km

Hasil simulasi tersebut dapat disimpulkan bahwa jaringan tidak mampu memberikan tekanan yang cukup, dimana terjadi *negative pressure* terjadi pada jam ke-19 waktu operasi. *Negative pressure* menggambarkan bahwa pada jam puncak akan terjadi ketiadaan air pada pipa-pipa yang mengalami *negative pressure* tersebut yang disebabkan diameter pipa yang terlalu kecil dan jarak yang terlalu jauh sehingga distribusi air pada wilayah tersebut tersendat.

Kemudian dengan meng-*overlay*-kan hasil simulasi tersebut dan peta tematik jaringan pipa distribusi dapat diketahui bahwa daerah yang rawan akan kebocoran air yaitu di desa Sidomulyo yang melayani 492 pelanggan, seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Peta Daerah yang Rawan Kebocoran Air

### Hasil Kebocoran Air

Dengan membandingkan nilai hasil keluaran total air distribusi dengan hasil air yang terjual dalam data pelanggan, maka dapat ditentukan nilai kehilangan air sebagai bentuk dari kebocoran dari jaringan distribusi. Berikut presentase kebocoran Di PDAM Unit Wonosalam

Tabel 1. Presentase Kehilangan Air Tahun 2012

Bulan	Presentase (%)
Januari	19.48
Februari	12.84
Maret	19.29
April	15.35
Mei	14.47
Juni	14.38
Juli	18.24
Agustus	7.32
September	10.19
Oktober	9.14
November	17.49
Desember	24.50

Analisis sistem distribusi pada wilayah Wonosalam menunjukkan adanya kebocoran di jalur ditribusi tertinggi sebesar 24,50 % dari hasil produksi air sebesar 44.022 m<sup>3</sup> pada bulan Desember 2012.

Hal ini dapat disebabkan oleh:

- *Illegal connection* / sambungan liar dan pencurian air
- Pembacaan meter yang tidak akurat
- Lemahnya penegakan hukum terhadap pelanggan yang menunggak di atas 3 bulan.
- Meter air dirusak sehingga tidak berfungsi sebagaimana mestinya.
- Kebocoran fisik pada pipa-pipa, titik tapping maupun peralatannya.
- Belum dijalankannya program *distrik metering Area* (DMA).

### Kesimpulan

Dari keseluruhan proses penelitian diatas dapat disimpulkan, yaitu sebagai berikut :

1. Pemetaan tematik jaringan pipa distribusi dapat dilakukan dengan menggunakan survey GPS navigasi, dengan melakukan survey langsung di lapangan. Hasil pemetaan tersebut kemudian diolah secara kartografis akan menghasilkan peta tematik yang memberikan informasi sesuai dengan kondisi di lapangan sesungguhnya.
2. Peta tematik jaringan pipa distribusi yang diolah dengan SIG dapat menjadi peta dasar untuk pengolahan simulasi distribusi air dengan EPANET 2.0. Hasil peta tematik yang baik akan memberikan hasil simulasi yang sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan.

3. Pemodelan Jaringan Pipa Distribusi menggunakan hasil pemetaan pipa distribusi yang diolah dengan *software* EPANET 2.0, dimana hasilnya menunjukkan adanya *negative pressure* pada jam-jam tertentu, yang menunjukkan belum seimbang supply air, kondisi *pressure* tertinggi sebesar 59,91 m, kondisi *head* tertinggi sebesar 89,82 m pada *node* 2, kondisi *flow* (debit aliran) tertinggi sebesar 8,54 LPS, kondisi *velocity* (kecepatan aliran) tertinggi sebesar 0,92 m/s, dan kondisi *Unit headloss* (kehilangan tekanan) tertinggi sebesar 35,70 m/km. kemudian dengan peta tematik jaringan pipa distribusi diketahui bahwa desa Sidomulyo menjadi daerah yang rawan akan kebocoran pipa.
4. Tingkat kehilangan air/kebocoran tertinggi pada tahun 2012 terdapat pada bulan Desember yaitu sebesar 24,50 % dari hasil produksi air 44.022 m<sup>3</sup>.

### Daftar Pustaka

1. Fatmawati, L. 2008. *Analisis Jaringan Pipa Pdam Kabupaten Kudus Di Kelurahan Undaan Kidul Dengan Epanet*. Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang. Semarang
2. Kraak, M., Ormeling, F. 2007. *Kartografi : Visualisasi Data Geospasial*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
3. PasilaF., Hannawati, A., Wintareja, A. 2002. *Sistem Deteksi Kebocoran Air PDAM Surabaya Berbasis Teknologi Scada*. Universitas Gunadarma. Jakarta
4. PDAM Demak. 2011. *Profil PDAM - Monitoring dan Evaluasi PDAM*. PDAM Tirta Dharma, Kabupaten Demak. Demak
5. Prahasta, E. 2001. *Konsep-konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. CV. Informatika, Jakarta
6. Prihandito, A. 1999. *Kartografi Digital*. Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
7. Rossman & Lewis, A. 2000. *EPANET Users Manual*. Environmental Protection Agency. USA
8. Zaman, B. 2008. *Aplikasi EPANET*. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Semarang