

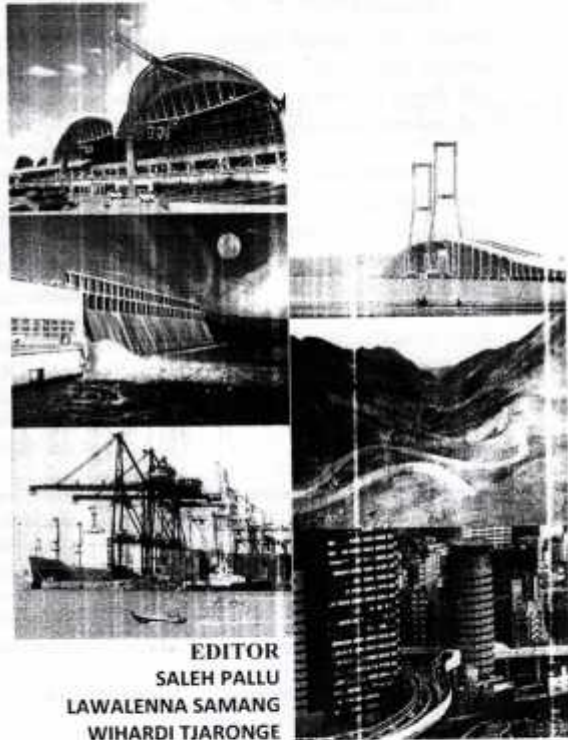
ISSN: 2087-7986

# **PUBLIKASI ILMIAH**

## **RENCANA PENELITIAN**

### **PENULIS**

**M. GALIB ISHAK  
NURNAWATY  
A. EJA UMRAENI SALAM  
TILAAH, T.A.M  
HUMAYATUL UMMAH SYARIF  
HAKZAH  
BENNY MOCHTAR  
HABIR  
NENNY  
YUSUF HARUN  
YUDHA SANDYUTAMA**



**EDITOR  
SALEH PALLU  
LAWALENNA SAMANG  
WIHARDI TJARONGE**



**DITERBITKAN OLEH  
PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
VOLUME XI-SEPTEMBER 2013**

**PUBLIKASI ILMIAH**

# **SISTEM DETEKSI KEBOCORAN SALURAN PIPA DISTRIBUSI AIR PDAM DENGAN METODE KECERDASAN BUATAN**

**A.Ejah Umraeni Salam<sup>1</sup>, Muh.Tola<sup>2</sup>, Mary Selintung<sup>3</sup> dan Farouk Maricar<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin*

*Jalan Perintis Kemerdekaan KM-10, Telp 081342117772, Email: [ejah.umraeni@yahoo.com](mailto:ejah.umraeni@yahoo.com)*

<sup>2</sup>*Dosen Jurusan Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin*

*Jl. Perintis Kemerdekaan, Km. 10, Telp 0411-587636, Email: [muhammad.tola@eng.unhas.ac.id](mailto:muhammad.tola@eng.unhas.ac.id)*

<sup>3</sup>*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin*

*Jalan Perintis Kemerdekaan KM-10, Telp 0411-587636, Email: [mary.selintung@yahoo.com](mailto:mary.selintung@yahoo.com)*

<sup>4</sup>*Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin*

*Jalan Perintis Kemerdekaan KM-10, Telp 0411-587636, Email: [fkmaricar@yahoo.com](mailto:fkmaricar@yahoo.com)*

## **ABSTRAK**

Air Bersih merupakan kebutuhan utama dan mendasar bagi manusia. Sehingga penyediaannya harus dijamin dengan tetap mempertahankan, kualitas, kuantitas dan tekanan air. Namun pada kenyataannya pada sistem distribusinya terjadi kebocoran dimana kebocoran air ini merupakan salah satu hal yang sampai saat ini masih menjadi masalah tidak hanya di Indonesia tapi juga didunia, khususnya di Negara kita kebocoran air disetiap kota /kabupaten bisa mencapai 40 %. Salah satu penyebab kebocoran air dari segi teknis adalah adanya pipa yang bocor,oleh karena itu sudah banyak penelitian yang telah dilakukan untuk menangani masalah tersebut. Khususnya masalah kebocoran air di PDAM Makassar yang mejadi obyek penelitian, terjadi kelambanan dalam menangani kebocoran, karena masih kurangnya tenaga terampil yang tersedia, serta alat deteksi yang terbatas. Sehingga tujuan penelitian ini adalah bagaimana menggunakan model kecerdasan buatan untuk mendeteksi besar dan letak lokasi kebocoran secara cepat dan efisien. Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif.yaitu dengan pemantauan tekanan disetiap node.. Hasil yang diharapkan yaitu dengan model kecerdasan buatan tersebut dapat mempelajari pola perubahan tekanan bila terjadi kebocoran sehingga output yang dihasilkan dapat memperkirakan besarnya kebocoran dan letak lokasi kebocoroan. Penelitian ini nantinya bisa menjadi platform buat PDAM dalam menangani kasus-kasus kebocoran air yangterjadi. Karena dengan mengetahui besar kebocoran dapat diperkirakan berapa pemakaian air yang sebenarnya oleh masyarakat dan dengan mengatahui lokasi kebocoran, maka akan sesegera mungkin dapat ditangani sehingga kerugian bisa diminimalisir.

**Kata kunci : Kebocoran air, Tekanan, Kecerdasan Buatan, besar dan lokasi kebocoran..**

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting terutama untuk kelangsungan kehidupan manusia. Air untuk konsumsi manusia, komersial dan industry harus dikelola, dimurnikan dan didistribusikan kepada pengguna. Meskipun tujuan utama dari system distribusi air adalah menyediakan pasokan air dan tekanan yang cukup bagi pemakainya, namun pada kenyataannya pada proses pengaliran terjadi kehilangan air dalam perjalanan dari jumlah yang disuplay. Masalah di tubuh PDAM sendiri sampai sekarang ini adalah masalah kerugian yang diderita oleh PDAM yang cukup besar yang umumnya disebabkan oleh adanya kebocoran air.Karena masalah kebocoran air sudah menjadi masalah umum di dunia bahkan data menunjukkan hampir setiap kota di Indonesia yang dilayani oleh PDAM mengalami kasus kebocoran air yang

menjadi salah satu sebab menurunnya pendapatan dari PDAM. Hal ini disebabkan tingkat kebocoran air PDAM di Indonesia cukup tinggi, yaitu rata-rata tiap PDAM hampir di setiap kota mencapai 30 - 40% dari jumlah pasokan air yang didistribusikan. (Sumber : Suara Merdeka, 2008-2013).

Pengendalian tingkat kebocoran ini perlu di lakukan secara baik, benar, berkesinambungan, dan menyeluruh (Teknis dan Non Teknis) meliputi berbagai aspek seperti legal, sosial, budaya, teknis dan komunikasi masa karena PDAM sendiri tidak bisa terlepas dari tanggung jawab sosialnya dimana PDAM menguasai hayat hidup masyarakat menyangkut air bersih.

Khusus kota Makassar sendiri sebagai objek penelitian diperoleh data mengenai kebocoran pada bulan Mei 2013 tercatat melebihi 40 % meliputi teknis maupun non teknis dengan kerugian mencapai 73,7 milyar selama tahun 2012 dan 65,9 milyar tahun 2011 (Metrotvnews.com, Mei 2013).

Oleh karena hal tersebut sudah banyak studi yang dilakukan dalam hal mengatasi masalah kebocoran air. Secara garis besar metode pendeteksian kebocoran terbagi dua yaitu metode akustik dan non akustik. Teknik akustik adalah teknik dengan menggunakan alat portable untuk mendeteksi gelombang suara yang timbul sepanjang pipa yang mengindikasikan adanya letak titik kebocoran. Teknik ini memiliki kekurangan utama yaitu sangat mudah terdisorsi dengan kebisingan sekelilingnya, seperti suara lalu lintas, angin, air tanah dan lain-lain dan teknik non akustik yaitu dengan menginjeksikan gas/cairan kedalam pipa jaringan distribusi. Teknik ini pun memiliki kekurangan karena kemungkinan terjadi kontaminasi dan biaya yang dibutuhkan sangat besar. Teknik yang baru berkembang dewasa ini adalah dengan pemakaian kecerdasan buatan dalam menentukan besar dan letak kebocoran. Oleh karena dari berbagai penelitian sebelumnya yang dijadikan bahan masukan dalam memutuskan arah penelitian maka dalam Proposal disertasi ini akan diangkat judul “Sistem Deteksi Kebocoran Saluran Pipa Distribusi PDAM Dengan Menggunakan Kecerdasan Buatan”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas sehingga dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana memperoleh data-data primer dan sekunder seperti pengukuran tekanan, kecepatan air, jumlah pelanggan, peta lokasi penelitian, diameter pipa, jenis pipa, dan lain-lain untuk menjadi parameter dalam penentuan letak dan lokasi kebocoran.
2. Bagaimana menggunakan berbagai model kecerdasan buatan dalam memprediksi letak dan besar kebocoran, dibandingkan dengan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.
3. Bagaimana mendapatkan model kecerdasan buatan atau modifikasi berbagai teknik tersebut sehingga diperoleh hasil yang lebih akurat dalam memprediksi letak lokasi kebocoran serta besarnya kebocoran dibanding penelitian sebelumnya.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis letak titik kebocoran serta besarnya kebocoran dengan menggunakan berbagai model kecerdasan buatan
2. Untuk mendapatkan model optimasi yang baru dengan tingkat error yang paling kecil dalam penentuan letak dan besar kebocoran dengan hasil yang lebih akurat.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini akan memberi manfaat kepada masyarakat umum dan dapat menjadi platform kepada PDAM dalam menentukan besar dan lokasi kebocoran. Uraian manfaat penelitian secara khusus sebagai berikut :

1. Metode ini sangat efektif nantinya digunakan oleh PDAM karena akan sangat membantu pekerjaan PDAM dalam menentukan letak dan lokasi kebocoran, diharapkan penggalian yang dilakukan PDAM tidak lagi akan terlalu mengganggu aktifitas masyarakat umum karena penggalian yang terlalu panjang dan lama.
2. Begitu pula akan sangat mengefektifkan waktu dan tenaga karena penentuannya akan lebih cepat sehingga kerugian bisa diminimalisir serta meminimalkan pemakaian alat deteksi yang mahal harganya.
3. Penelitian akan memberikan platform kepada PDAM mengenai teknologi komputerisasi yang bisa dijadikan acuan dalam menentukan besar dan letak kebocoran

Dari uraian manfaat penelitian secara umum sebagai berikut :

1. Masyarakat akan terpenuhi kebutuhan air bersih khususnya yang menggunakan jasa PDAM.
2. Kerugian bagi PDAM otomatis berdampak pada kerugian Negara yang berdampak luas pada masyarakat.

## 2.LANDASAN TEORI

### 2.1 Efek tekanan pada kebocoran dalam system distribusi air

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi kebocoran air dalam system distribusi adalah besarnya tekanan. Pada awalnya dinyakini bahwa kebocoran dari system distribusi air relative tidak sensitive terhadap tekanan, namun berbagai penelitian lapangan telah membuktikan bahwa asumsi tersebut salah dan telah menunjukkan bahwa besarnya tekanan sangat berpengaruh pada tingkat kebocoran dari distribusi air. Manajemen tekanan telah menjadi control kehilangan air, namun mekanisme penentuan besarnya tingkat kebocoran baru dikembangkan dewasa ini.

#### *Hubungan tekanan-kebocoran*

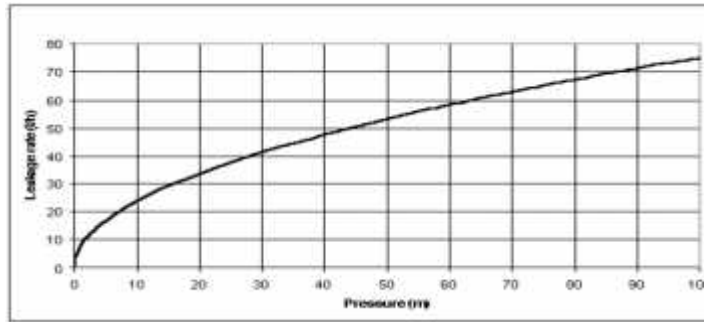
Kecepatan aliran air dari lubang dalam pipa dihitung dengan persamaan dalam bentuk :

$$Q = CH \dots\dots\dots (1)$$

- Dimana : Q = Debit aliran dari lubang  
H = head tekanan dalam pipa  
C = konstanta koefisien kebocoran  
= konstanta eksponen kebocoran

Koefisien kebocoran memberikan ukuran faktor yang mempengaruhi kebocoran dengan cara yang tidak terpengaruh oleh laju aliran, termasuk diameter lubang, koefisien loss efek kontraksi dari jalur aliran pada pintu masuk (vena kontraksi). Sedang eksponen kebocoran menyediakan ukuran sensitivitas dari tingkat kebocoran terhadap tekanan dalam pipa.

Sesuai dengan teori konvensional, tingkat kebocoran melalui lubang pipa berdiameter tetap tekanan dalam pipa sebanding dengan akar kuadrat dari tekanan, atau persamaan ini dikenal dengan persamaan lubang.



**Gambar 1.** Hubungan antara tekanan dan kebocoran pada pipa dengan diameter 1 mm dengan eksponen kebocoran 0,5

## 2.2. Analisis Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih

Analisis jaringan pipa perlu dilakukan dalam pengembangan suatu jaringan distribusi maupun perencanaan suatu jaringan pipa baru. Sistem jaringan perpipaan didesain untuk membawa suatu kecepatan aliran tertentu. Ukuran pipa harus tidak melebihi dimensi yang diperlukan dan juga tekanan dalam sistem harus tercukupi. Dengan analisis jaringan pipa distribusi, dapat ditentukan dimensi atau ukuran pipa yang diperlukan sesuai dengan tekanan minimum yang diperbolehkan agar kuantitas aliran terpenuhi.

Pada pengembangan model sistem distribusi, metode untuk menentukan pemakaian air dan karakteristik pipa didiskusikan seiring dengan bagaimana mengatur seluruh data yang terlibat dalam menganalisis sistem distribusi air. Pertanyaan kemudian yang timbul adalah bagaimana memadatkan sistem yang sedemikian luas ke dalam suatu program komputer yang dapat diterima keakurasiannya. Sehingga timbullah program-program yang dapat memodelkan distribusi jaringan pipa seperti EPANET, SCADA dan lain-lain.

## 2.3 Aplikasi Epanet 2.0 dalam Analisa Jaringan Distribusi Air Bersih

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 dari perkembangan waktu dari profil hidrolis dan perlakuan kualitas air bersih dalam suatu jaringan pipa distribusi, yang didalamnya terdiri dari titik/*node/junction* pipa, pompa, *valve* (asesoris) dan reservoir baik *ground reservoir* maupun reservoir menara. *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 serta besarnya konsentrasi unsur kimia yang terkandung dalam air bersih yang didistribusikan dan dapat digunakan sebagai simulasi penentuan lokasi sumber sebagai arah pengembangan.

## 2.4. Pemodelan Kebocoran di Epanet 2.0 [John Masford *et all* (2009)]

Meskipun EPANET terutama dirancang untuk pemodelan jaringan masalah kualitas pasokan air, namun emitter di EPANET yang dirancang untuk model kebakaran hidran / sprinkler dapat digunakan sebagai model kebocoran. Definisi Emitter didasarkan pada persamaan Torricelli untuk aliran melalui suatu lubang

$$Q = C * A * P^B \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dimana: Q adalah debit, C adalah koefisien, A adalah luas area, P adalah tekanan fluida dan B adalah eksponen tekanan. Eksponen tekanan (B) biasanya 0,5 untuk lubang

melingkar. Berdasarkan persamaan ini berlaku definisi sederhana untuk fungsi emitor.

$$EC = Q / P^B \quad \dots\dots\dots (3)$$

Dimana EC adalah koefisien emitor, Q adalah laju alir, P adalah tekanan fluida dan B adalah eksponen tekanan. Koefisien emitor merupakan laju aliran per satuan.

### 2.5. Metode yang digunakan oleh PDAM

Dalam memprediksi kebocoran pipa, PDAM umumnya masih menggunakan system manual, yaitu dengan melihat secara kasat mata jika terjadi genangan air yang berada diatas saluran pipa PDAM, atau dari laporan masyarakat tentang adanya kebocoran atau tidak mengalirnya air di rumah mereka sedangkan menurut data suplay pasokan air cukup tersedia. Dari laporan tersebut ditindaklanjuti dengan turun kelapangan secara langsung untuk melihat kondisi dilapangan. Akan tetapi cara ini merupakan cara yang memakan waktu yang lama, karena suatu jaringan penyediaan air minum bisa saja mencakup area yang cukup luas dan kompleks.

Adapun metode yang umum digunakan dalam pemantauan kebocoran ini adalah sistem zone (DMA) dimana suatu daerah layanan dibuat menjadi loop tertutup dengan 1 meter induk in ke dalam zone dan 1 meter induk out ke luar daerah layanan tersebut. Zone ini biasanya mencakup 500 - 1.000 pelanggan atau dapat juga berdasarkan jaringan pipa sekunder yang ada. Tekanan air pada daerah-daerah didalam zone dan kapasitas in dan out pada water meter dipantau serta dibandingkan dengan pencatatan pada water meter pelanggan di dalam zoning tersebut untuk jangka waktu yang bersamaan. Jika terjadi deviasi lebih dari yang dapat diterima antara pencatatan kapasitas air maka dilakukan investigasi kebocoran (teknis dan non-teknis ) pada daerah tersebut.

Investigasi kebocoran dapat menggunakan teknik step test untuk lokasi yang terdiri dari beberapa zone yang kemudian dilanjutkan dengan menggunakan alat deteksi kebocoran dan atau peralatan lainnya yang reliable. Tindakan teknis segera diambil jika ditemui kebocoran seperti penggalian atau sounding.

#### a. Teknik penggunaan alat deteksi kebocoran

Ada beberapa alat deteksi kebocoran yang ada di pasaran yaitu :

##### 1) Ultrasonic

- a) Di bagian upstream di injeksikan ultrasonic sound wave kedalam pipa (bisa dari luar pipa melalui clamping atau di masukkan kedalam pipa). Kemudian seseorang dengan portable devicenya akan mengikuti jalur pipa dan mendeteksi suara ultrasonic yang di jalarkan sepanjang pipa. Jika ada kebocoran, akan terdeteksi 'spike signal'. Biasanya alat ini bisa mendeteksi kebocoran sampai diameter bocor terkecil 0.2 mm.



**Gambar 2.** Ultrasonic flow meter (Sumber [www.mimdech.com](http://www.mimdech.com))

- b) Tanpa adanya injeksi sinyal ultrasonic di upstream. Tekanan fluida didalam pipa tentunya diharapkan relatif besar ( $>4$  bar), sehingga jika terjadi kebocoran, maka pada titik lubang kebocoran tersebut akan timbul gelombang suara. Semakin besar bocornya akan semakin tinggi amplitude gelombangnya. Alat portable digunakan untuk mendeteksi gelombang suara yang timbul sepanjang pipa.
- 2) Resistivitas/Konduktivitas  
Adanya kebocoran berarti akan ada liquid spill off ke tanah sekitar sehingga nilai resistivitas tanah di area tersebut akan berubah. Nilai Resistivitas/Konduktivitas ini yang di deteksi oleh alat portable.
- 3) Kelembaban  
Tanah sekitar titik bocor akan basah oleh liquid yang bocor yang akan meningkatkan level kelembaban di area tanah tersebut. Nilai kelembaban ini yang selanjutnya diukur.
- 4) InfraRed  
Infra Red survey intinya mendeteksi temperatur tanah pada suatu area tertentu. Dengan digital foto imaging, tanah yang basah oleh kebocoran liquid akan terdeteksi mempunyai temperature berbeda (misal warna biru) dengan tanah lainnya yang kering (misal warna coklat).



**Gambar 3.** Infrared leak detection(Sumber [www.sentechcorp.com](http://www.sentechcorp.com))

#### **b. Pemakaian EPANET dalam deteksi kebocoran oleh PDAM**

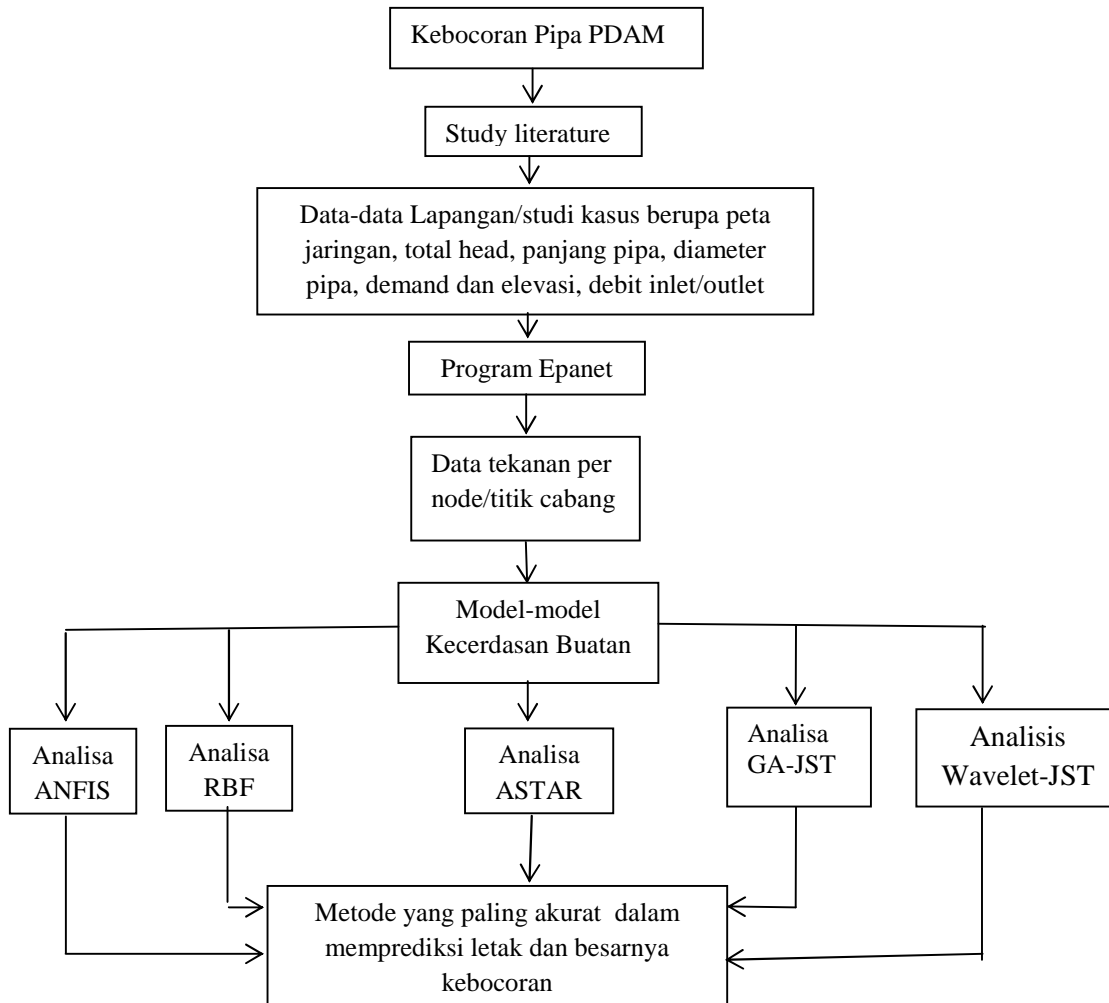
Untuk menghindari pemborosan waktu dan tenaga kerja, sehingga kemudian diterapkan sebuah teknologi monitoring yang menggunakan simulasi berbasis computer sehingga pemantauan kebocoran pada jaringan pipa distribusi air minum lebih efisien dan juga akurat. Dalam beberapa aplikasi yang terkait monitoring system distribusi air minum ini termasuk diantaranya dengan menggunakan EPANET. Seperti diketahui sebelumnya kegunaan utama dari EPANET adalah mensimulasikan perilaku hidraulika dari jaringan pipa yang dibangun menurut kondisi debit air yang dialirkan baik secara waktu tunggal (single period) atau selama beberapa jam (extended period). Misalkan dalam suatu lingkungan perumahan ada blok yang tidak memperoleh air dan setelah diselidiki tidak terjadi kebocoran yang kasat mata, maka tim lapangan akan mengukur tekanan di rumah-rumah tersebut dan membandingkannya dengan hasil simulasi Epanet, jika diperoleh hasil pengukuran yang cukup jauh melenceng dari hasil EPANET maka barulah dilakukan penyelidikan kelokasi tersebut yang kemungkinan besar karena adanya kebocoran.

Pengukuran tekanan di dilakukan setiap titik/node untuk menyesuaikan dengan nilai tekanan pada EPANET. Jika terjadi selisih yang cukup besar, maka daerah tersebut dilokalisir dan selanjutnya untuk menentukan tepatnya dimana lokasi kebocoran digunakan alat deteksi kebocoran. Tentu saja metode ini memerlukan cukup waktu dan tenaga.

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Kerangka pikir penelitian

Penelitian ini berupa penelitian kuantitatif dengan merujuk pada penelitian-penelitian terdahulu, maka kerangka pikir penelitian kami buat dalam diagram alir berikut :



**Gambar 4.** Kerangka pikir penelitian

#### 3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Pengambilan data dilakukan di PDAM kota Makassar dengan obyek penelitian berada di perumahan Taman Kayangan Tanjung Bunga Makasar. Penelitian direncanakan selama 12 Bulan.

#### 3.3 Jenis dan Teknik Pengambilan Data

1. Data-data sekunder berupa data untuk satu zone berupa peta lokasi, jumlah pelanggan, elevasi tanah, total head, diameter pipa, jenis pipa yang digunakan, debit di inlet/outlet reservoir diperoleh dari PDAM Kota Makassar . Selanjutnya

data tersebut diolah oleh EPANET untuk melihat perilaku hidrolika disetiap titik/node

2. Data-data primer hasil EPANET disetiap titik kemudian dibuat pemodelan kebocorannya dengan mengubah besarnya kebocoran dan letak kebocoran dan dipantau perubahan tekanan pada setiap titik/node yang telah ditentukan. Selanjutnya data-data tersebut akan diajarkan pada kecerdasan buatan untuk mendapatkan pola pemodelan yang akan digunakan untuk menentukan letak dan lokasi kebocoran.

### **3.4. Metode Analisis Data**

1. Program yang digunakan untuk analisis data adalah program MATLAB.
2. Menggunakan dan membandingkan macam-macam model kecerdasan buatan untuk deteksi kebocoran dengan program MATLAB.
3. Menghasilkan model kecerdasan buatan yang paling optimal dengan hasil yang lebih akurat.

### **4. HASIL YANG DIHARAPKAN**

Dengan berbagai model-model kecerdasan buatan yang digunakan diharapkan bisa secara cepat dan mudah dalam memprediksi letak dan besarnya kebocoran terutama untuk kebocoran di dalam tanah yang tidak muncul kepermukaan. Dengan menggunakan system komputerisasi menggunakan kecerdasan buatan berdasarkan hasil monitoring tekanan per node yang telah diperoleh dari hasil simulasi dengan EPANET. Disamping itu diharapkan besarnya kebocoran dapat diperoleh untuk kebocoran < 90 lt/jam dan deteksi lokasi jarak yang kurang dari 5 meter.

### **5.DAFTAR PUSTAKA**

1. Cao,X-L, Jiang ,C-Y, Gan S-Y,. (2008). *Leakage Monitoring And Locating Method Of Water Supply Pipe Network*. Proceedings Of The Seventh International Conference On Machine Learning And Cybernetics, Kunming, 12-15 July 2008.
2. Caputo, A.C. and Pelagagge, P.M. (2003). *Using neural networks to monitor piping systems*, Process Safety Progress, Vol. 22, No. 2, pp.119-127, 2003.
3. Che, H., Ye,H. et all. (2004).*Application of Support Vector Machine Learning to Leak Detection and Location in Pipelines. (2004) . IMTC 2004 - Instrumentation and Measurement Technology Conference. Como. Italy. 18-20 May 2004.pp 2273-2277.*
4. Corneliu T.C Arsene,C.T., , Bogdan Gabrys, B., 1, Al-Dabass,D.(2012).*Decision support system for water distribution systems based on neural networks and graphs theory for leakage detection. 2012 Elsevier.Expert Systems with Applications 39.pp. 13214–13224.*
5. Dian Vitta agustina. (2007). *Analisa Kinerja Sistem Distribusi Air Bersih PDAM Kecamatan Banyumanik di Perumnas Banyumanik*. Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil – Universitas Diponegoro Manajemen Dan Rekayasa Infrastruktur. Semarang.
6. Feng, J. and Zhang, H. (2006). *Algorithm of pipeline leak detection based on discrete incremental clustering method*, in ICIC 2006, LNAI 4114, Huang, D.-S., Li, K and Irwin, G.W. (eds.), pp. 602- 607, Springer-Verlag, 2006.

7. Huang, C.L and Wang,C.J.,A. (2006). *GA-based feature selection and parameters optimization for support vector machines*.2005 Elsevier. Expert Systems with Applications 31.pp. 231–240.
8. Jalalkamali, A and Jalalkamali, N. (2011). *Application of Hybrid Neural Modeling and Radial Basis Function Neural Network to Estimate Leakage Rate in Water Distribution Network*.World Applied Sciences Journal 15 (3): 407-414.
9. Jin Yang, Yumei Wen, Ping Li.(2010).*Information Processing for Leak Detection on Underground Water Supply Pipelines*. Third International Workshop on Advanced Computational Intelligence August 25-27, 2010
10. Li hong-wei, Li Yan jing, Wenyan Wu, Lu Mou.(2011) .*Research on Water Leakage Prediction of Urban Water Supply Network Based on Grey GM (0, N) Model*. 2011 International Conference on Networking, Sensing and Control Delft, the Netherlands, 11-13 April 2011
11. Mandal, S.K., Chan.F.T.S., Tiwari,M,K. (2012).*Leak detection of pipeline: An integrated approach of rough set theory and artificial bee colony trained SVM*, 2011 Elsevier. Expert Systems with Applications 39 (2012) 3071–3080.
12. Mashford,J et all.(2009).*An approach to leak detection in pipe networks using analysis of monitored pressure values by support vector machine*. 2009 Third International Conference on Network and System Security.IEEE Computer Society,pp. 534 -539.
13. Qu, Z., Feng, Hao,. et all.(2010). *A SVM-based pipeline leakage detection and pre-warning system*. Measurement 43. Elsevier pp.513-519.
14. Rahmat D.A dan Idris M.K. *Permodelan Sistem Jaringan Distribusi Air Minum:Studi Kasus Distrik Majasem Cirebon*, Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil Dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl Ganesha 10 Bandung 40132
15. Ramesh, R., Mannan, M.A. and Poo, A.N. (2001). *A comparison of support vector machines with artificial neural networks for the prediction of thermal errors in machine tools*. Transactions of the North American Manufacturing Research Institution of SME, Vol. XXIX, 2001, pp. 577-584.
16. Rossman, L.A., *EPANET 2 User's Manual*, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, U.S.A., 2000.
17. Silva, D.D.,Mashford,J.,Burn, Stewart. (2011). *Computer Aided Leak Location and Sizing in Pipe Network*. Urban Water Security Research Alliance Technical Report No. 17.
18. Suzhou, Jiangsu, ChinaJunhua L , Wenbai LIU, Zhaochen S, Li CUIA.(2008). **New Failure Detection Method and its Application in Leak Monitor of Pipeline**.10th Intl. Conf. on Control Automation, Robotics and Vision Hanoi, Vietnam, 17–20 December 2008.
19. Van Zyl, J.E. and Clayton, C.R.I. (2007). *The effect of pressure on leakage in water distribution systems*. *J.Water Management*, 160(2), June 2007, p 109-114. (Proc. Inst. of Civ. Eng. UK).
20. Wang,J.,Yu,Yang. et all.(2012). *Hierarchical Leak Detection and Localization Method in Natural Gas Pipeline Monitoring Sensor Networks*.Sensor 2012,12, pp 189-214.
21. Winardi Dwi Nugraha.(2010). *Studi Kehilangan Air Akibat Kebocoran Pipa Pada Jalur Distribusi Pdam Kota Magelang*. *Jurnal PRESIPITASI*. Vol. 7 No.2 September 2010, ISSN 1907-187X.

22. Xuesong,S., Li Min., Hou,C,. (2007). *Application of Fuzzy Inference in the Confidence Analysis on the Sound Wave Data of Water Leakage*. The Eighth International Conference on Electronic Measurement and Instruments ICEMI 2007.
23. Yang, Q.,Guo. Bin., Lin, M. (2010).*Differential pressure prediction in air leak detection using RBF Neural Network* International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence, 2010 IEEE Computer Society, pp. 211-213.
24. Zhang, S., Asakura,T. Hayashi, S (2003).*Leakage Fault Detection of Pneumatic Pipe System using Neural Networks*. SICE Annual Conference in Fukui, August 4-6.2003 Fukui University, Japan
25. Zhang, Y.W. (2008). *Fault detection and diagnosis of nonlinear processes using improved kernel independent component analysis (KICA) and Support Vector Machine (SVM)*. Industrial and Engineering Chemistry Research, 47(18), 2008, pp. 6961-6971.