

SISTEM DETEKSI KEBOCORAN PADA JARINGAN PIPA MENGGUNAKAN ANALISIS TEKANAN DENGAN METODE *ADAPTIVE SPLINE THRESHOLD AUTOREGRESSION (ASTAR)*

A.Ejah Umraeni Salam¹, Muh.Tola², Mary Selintung³, Farouk Maricar⁴, Indra Bayu⁵, Arliyanti Nurdin⁶, Muthmainna⁷

¹Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin

^{2,5}Dosen Jurusan Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin

^{3,4}Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin

^{6,7}Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin

Abstrak— Tingkat kebocoran pipa air PDAM setiap tahunnya meningkat akibat beberapa faktor seperti faktor pipa yang sudah tua dan kurangnya perawatan pipa. Hal ini mengakibatkan kerugian baik dari pihak PDAM maupun masyarakat. Meskipun demikian, penanganan cepat dalam mengatasi kebocoran pipa masih sulit dilakukan akibat tidak adanya peralatan ataupun metode yang memadai dan efektif. Dalam penelitian ini akan dibuat pendeteksi kebocoran pipa secara komputerisasi menggunakan analisis tekanan sebagai penentu adanya kebocoran di suatu pipa. Sebagai bahan penelitian, digunakan sistem jaringan pipa pada Perumahan Taman Khayangan Makassar yang dibuat menggunakan *software* EPANET 2.0. Data Sistem jaringan pipa tersebut diperoleh dari data PDAM Makassar. Deteksi kebocoran pipa dalam penelitian ini menggunakan metode ASTAR untuk membuat model deteksi. Dan untuk variabel prediktornya menggunakan data tekanan dari sistem jaringan pipa Perumahan Taman Khayangan Makassar. *Output* dari sistem deteksi kebocoran ini berupa model yang mendeteksi besar kebocoran serta letak kebocoran pada pipa maupun *junction/* sambungan pipa.

Hasil menunjukkan bahwa metode ASTAR telah menghasilkan model deteksi yang dapat digunakan dalam mendeteksi kebocoran pipa terbukti dengan nilai rata – rata RMSE model besar kebocoran yang dihasilkan berkisar 0,001 dan nilai rata – rata RMSE model letak kebocoran yang dihasilkan berkisar 0,009. Dengan menerapkan sistem deteksi kebocoran menggunakan metode ASTAR, dapat diperoleh informasi yang akurat mengenai besar dan letak titik kebocoran yang terjadi sehingga masalah kebocoran dapat cepat ditangani.

Keywords— *Adaptive Spline Threshold Autoregression (ASTAR)*; EPANET; Kebocoran pipa; RMSE.

I. PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan utama dalam hidup manusia sehingga diperlukan pengelolaan dan pendistribusian yang baik terhadap sumber daya ini. Sistem distribusi membawa air yang telah diolah dari instalasi pengolahan menuju pemukiman, perkantoran dan industri yang mengkonsumsi air. Untuk mendistribusikan air kepada konsumen dengan kuantitas, kualitas dan tekanan yang cukup memerlukan sistem perpipaan yang baik. Namun dalam proses pendistribusiannya terkadang terjadi masalah kehilangan air akibat kebocoran pipa.

Ada banyak metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran. Secara garis besar metode pendeteksian kebocoran terbagi dua yaitu metode akustik dan non-akustik (Maxford, John, dkk 2011). Teknik akustik adalah teknik dengan menggunakan alat portable digunakan untuk mendeteksi gelombang suara yang timbul sepanjang pipa yang mengindikasikan adanya titik lubang kebocoran pada pipa. Teknik ini mampu mendeteksi lokasi fitting yang berada di bawah permukaan tanah. Namun teknik ini memiliki beberapa kelemahan di antaranya yaitu sangat mudah terdistorsi dengan kebisingan sekitar seperti suara kebisingan lalu lintas, gelombang suara sangat bergantung dengan material pipa yang digunakan, ukuran dan kondisi tanah menentukan kekuatan sinyal, sulit mendeteksi sinyal dari pipa plastik, serta diperlukan tenaga terampil yang berpengalaman (Fuchs and Riehle, 1991).

Teknik non-akustik dapat dilakukan dengan cara menginjeksikan *tracing substances* yakni gas helium (He) ke dalam pipa yang mengalirkan air. Dan apabila terdapat pipa yang pecah atau bocor, maka air dan gas heliumnya akan keluar dari pipa. Teknik ini membutuhkan biaya yang besar serta dapat meningkatkan resiko kontaminasi air dalam saluran pipa sehingga jarang digunakan secara luas.

Efek dari kebocoran pipa menyebabkan terjadinya perubahan tekanan pada setiap *junction /*titik persimpangan dalam jaringan pipa air. Sehingga dimungkinkan untuk melakukan analisis secara komputerisasi terhadap pola perubahan tekanan tersebut untuk mendeteksi kebocoran.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pemodelan deteksi kebocoran dengan menggunakan metode statistik *Adaptive Splines Threshold Autoregression (ASTAR)*. ASTAR merupakan pemodelan berdasarkan algoritma *Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS)* yang merupakan sebuah pendekatan untuk memodelkan regresi nonparametrik multivariat yang dicetuskan pertama kali oleh Friedman (1991). Diharapkan dengan menggunakan metode ASTAR diperoleh model untuk mendeteksi kebocoran dengan hasil yang akurat.

II. METODOLOGI

A Pengumpulan Data

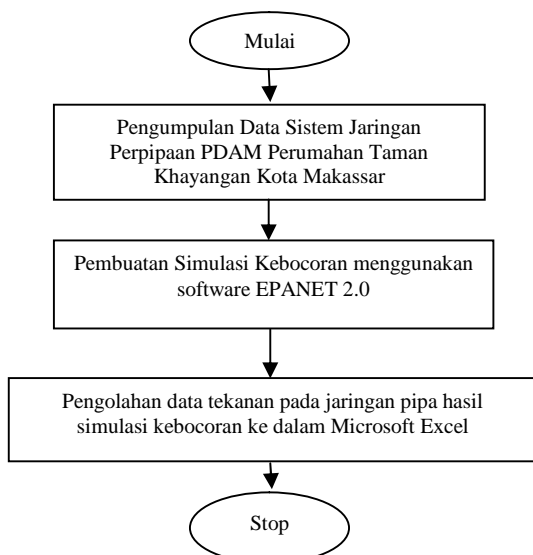
1. Jenis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data tekanan pada setiap *junction*/ persimpangan pipa yang terdapat pada jaringan pipa PDAM Perumahan Taman Khayangan Makassar. Data tersebut adalah data tekanan pada saat terjadi kebocoran, baik pada *junction*/ titik persimpangan maupun kebocoran yang terjadi pada saluran pipa. Data tekanan ini digunakan untuk memprediksi letak dan besar kebocoran yang terjadi pada jaringan pipa dengan menerapkan metode statistik ASTAR (*Adaptive Splines Threshold Autoregression*).

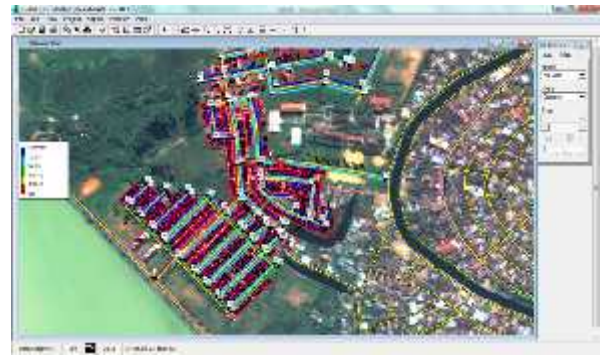
Untuk memperoleh model dengan hasil prediksi yang akurat, ASTAR memerlukan ratusan bahkan ribuan set data *training*. Oleh karena itu tidak memungkinkan untuk menggunakan data kebocoran pipa aktual yang terjadi di lapangan sebagai data *training*. Sehingga data tekanan yang digunakan adalah data yang diperoleh dari hasil simulasi kebocoran dengan menggunakan software EPANET 2.0. Software EPANET 2.0 merupakan sebuah software untuk sistem hidrolik yang telah digunakan oleh PDAM untuk memonitoring jaringan pipa.

2. Teknik Pengambilan Data

Sebelum melakukan simulasi kebocoran, terlebih dahulu dilakukan pembangunan sistem jaringan perpipaan menggunakan EPANET 2.0. Sistem jaringan perpipaan dibangun dengan memasukkan data-data berupa besar debit air yang mengalir dari reservoir, panjang dan diameter pipa, tingkat kekasaran/ *roughness* setiap pipa, serta besar elevasi dan *demand*/ kebutuhan air rata-rata pada setiap *junction*. Data tersebut merupakan data untuk sistem jaringan perpipaan yang terdapat pada Perumahan Taman Khayangan Kota Makassar yang diperoleh dari PDAM Kota Makassar.



Gambar 1 Tahapan Pengumpulan Data



Gambar.2 Sistem Jaringan Pipa Perumahan Taman Khayangan Makassar dengan menggunakan software EPANET 2.0

Meskipun EPANET pada umumnya digunakan untuk pemodelan sistem jaringan perpipaan dan kualitas air, namun properties emitter pada EPANET yang didesain untuk pemodelan *fire hydrants/ sprinklers* dapat digunakan untuk memodelkan kebocoran.

Setelah sistem jaringan perpipaan telah selesai, maka dilakukan simulasi kebocoran dengan menggunakan software EPANET 2.0. Simulasi kebocoran dilakukan dengan mengubah koefisien emitter pada *junction* yang akan dijadikan sebagai titik kebocoran. Emitters adalah peralatan yang berkaitan dengan *junction* yang merupakan model dari aliran yang melalui *nozzle* atau *orifice* yang dilepaskan ke udara bebas. Fungsi emitter pada EPANET adalah sebagai berikut:

$$EC = Q / P^{P \text{ exp}} \quad (1)$$

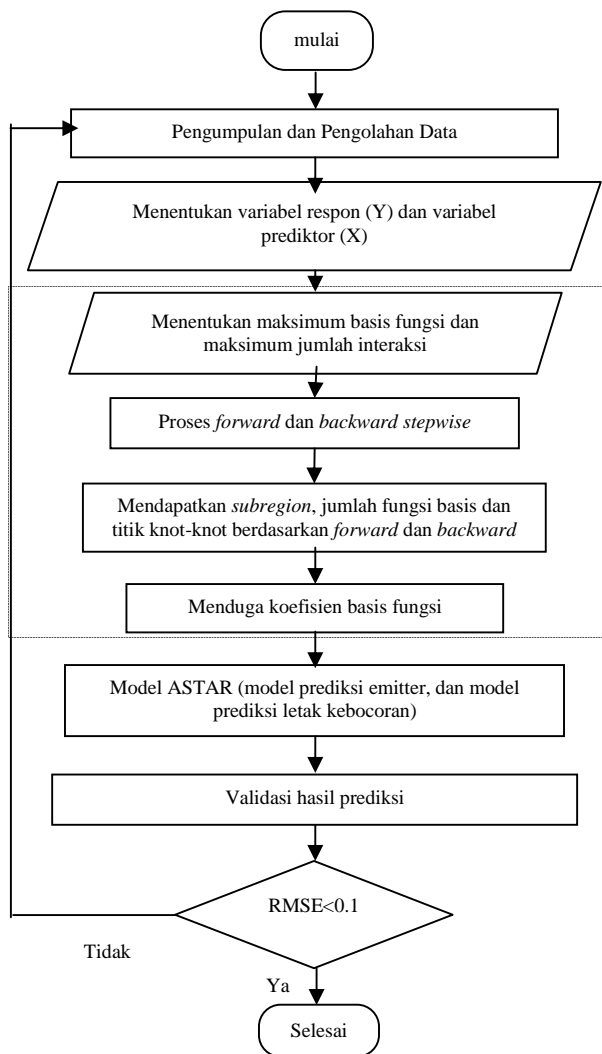
Di mana EC adalah koefisien emitter, Q adalah debit air, P adalah tekanan fluida, $P \text{ exp}$ adalah eksponen tekanan. Sehingga koefisien emitter merupakan debit per unit tekanan dengan satuan liter per detik per meter tekanan ($L \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$). Untuk *head nozzle* dan *sprinkler* $P \text{ exp}$ sebanding dengan 0,5 (Mashford, J, et.all. 2009).

Koefisien emitter yang digunakan untuk simulasi kebocoran adalah dari 0.005 sampai 0.3 dengan selang 0.005. Besar tekanan rata-rata pada jaringan pipa adalah 3,739158 m. Sehingga untuk koefisien emitter 0.005 menghasilkan kebocoran sebesar 0.01 L/s. Besar kebocoran yang disimulasikan berkisar antara 0.01 hingga 0.6 L/s.

Simulasi kebocoran yang dibuat sebanyak 44 set kasus kebocoran pada *junction* dan 623 set kasus kebocoran pada pipa dengan setiap titik kebocoran berjarak 4 meter dengan koefisien emitter dari 0.005 – 0.3. Jadi secara keseluruhan terdapat 40.020 data kebocoran untuk besar dan letak kebocoran yang beragam. Data ini digunakan sebagai data *training* dalam pembuatan model ASTAR.

B. Pemodelan Astar

Flowchar Prediksi Besar dan Letak Kebocoran Dengan Metode Astar dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3. Flowchart Pembentukan Model ASTAR

Jaringan pipa air yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 44 *junction* / titik persimpangan pipa. Efek dari kebocoran menyebabkan pola perubahan data tekanan yang berbeda untuk setiap pipa. Sehingga masing-masing pipa akan memiliki model untuk memprediksi besar koefisien emitter dan model untuk memprediksi letak kebocoran berupa jarak kebocoran (m) dari *junction*. Kedua model tersebut tidak berlaku umum. Model pada pipa A tidak dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran yang terjadi pada pipa B dan pipa lainnya.

C. Interface Sistem Deteksi Kebocoran Dengan Menggunakan Guide Matlab

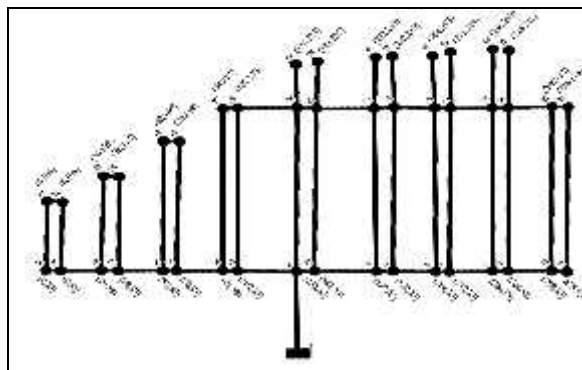
Model ASTAR untuk deteksi kebocoran akan lebih mudah digunakan jika melalui sebuah *interface*/ tampilan GUI. Oleh karena itu, tampilan GUI sederhana yang *user friendly* dibuat dengan menggunakan fasilitas GUI pada software MATLAB. Melalui *interface* ini *user* akan mudah memasukkan data tekanan yang akan dideteksi dan melihat hasil prediksi berupa besar kebocoran dalam L/s

dan letak kebocoran yang digambarkan pada peta lokasi sehingga *user* akan lebih mudah mengetahui titik kebocoran yang terjadi.

Model ASTAR memprediksi besar koefisien emitter sehingga untuk mengetahui besar kebocoran (L/s) yang terjadi digunakan persamaan (1).

Hasil dari prediksi letak kebocoran menggunakan model ASTAR berupa jarak titik kebocoran (m) dari *junction*. Untuk menggambarkan posisi titik kebocoran pada peta lokasi diperlukan penentuan koordinat x dan koordinat y.

Berikut gambar penentuan koordinat x dan y untuk setiap *junction*.



Gambar 4. Koordinat tiap *junction* pada jaringan pipa

Hasil prediksi letak kebocoran berupa jarak dalam satuan meter akan diubah ke dalam bentuk koordinat sesuai dengan penentuan koordinat tiap *junction* pada jaringan pipa.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Model Adaptive Spline Threshold Autoregression (Astar)

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data tekanan pada *junction* saat terjadi kebocoran dengan besar kebocoran berkisar antara 0.01-0.6 L/s. Untuk mendeteksi letak kebocoran dengan rentang besar kebocoran tersebut maka digunakan dua model ASTAR, yaitu model untuk memprediksi besar koefisien emitter dan model untuk memprediksi letak kebocoran yang terjadi.

Model ASTAR menghubungkan variabel respon dan variabel prediktor. Variabel respon dalam pemodelan koefisien emitter adalah besar koefisien emitter (0.005 - 0.3) sedangkan variabel prediktornya adalah tekanan pada setiap *junction* dengan jumlah 44 variabel. Berdasarkan teori yang dikemukakan oleh Friedman (1991) jumlah basis fungsi (BF) nilainya adalah 2 sampai 4 kali dari variabel prediktor dan maksimum interaksi (MI) nilainya adalah 1, 2, atau 3 dengan asumsi bahwa interaksi yang lebih dari 3 akan menghasilkan model yang semakin

kompleks. Berdasarkan *trial* dan *error* terhadap kombinasi BF dan MI untuk mendapatkan nilai GCV minimum, maka diperoleh jumlah BF = 88 dan MI = 3. Kombinasi tersebut menghasilkan model ASTAR yang terbaik untuk memprediksi besar koefisien emitter.

Sebagai contoh, diprediksi besar kebocoran yang terjadi pada pipa yang menghubungkan junction 13 dan 2. Model yang terbentuk sebagai berikut:

$$Y_e = 0.12 - 18.7 * BF1 + 18 * BF2$$

Dimana:

$$BF1 = \max(0, x1 - 3.86)$$

$$BF2 = \max(0, 3.86 - x1)$$

Untuk mendeteksi letak kebocoran, hasil prediksi koefisien emitter dimasukkan sebagai variabel prediktor untuk pemodelan letak kebocoran. Sehingga jumlah variabel prediktornya adalah 45 variabel, 44 variabel prediktor berupa tekanan tiap *junction* ditambah 1 variabel berupa koefisien emitter. Model untuk memprediksi letak kebocoran menggunakan kombinasi jumlah BF = 90 dan MI = 3.

Model yang terbentuk sebagai berikut:

$$Y_1 = 21.8 + 6.22e+004 * BF1 - 3.98e+004 * BF2 + 8.57e+004 * BF3 + 3.92e+007 * BF4 + 3.49e+007 * BF5 - 3.41e+007 * BF6 - 8.81e+008 * BF7 + 1.58e+010 * BF8 + 1.52e+009 * BF9 + 1.49e+009 * BF10 - 1.48e+009 * BF11 + 1.79e+007 * BF12 - 1.79e+007 * BF13 - 1.06e+006 * BF14 + 1.07e+006 * BF15 - 1.11e+006 * BF16 + 6.63e+007 * BF17 - 6.34e+009 * BF18 + 1.58e+009 * BF19 - 1.93e+007 * BF20 + 1.93e+007 * BF21 - 4.84e+007 * BF22 + 9.71e+006 * BF23 + 1.81e+006 * BF24 - 1.81e+006 * BF25 - 2.38e+009 * BF26 - 7.06e+009 * BF27 + 3.32e+007 * BF28 - 1.15e+008 * BF29 + 3.18e+008 * BF30 + 2.36e+009 * BF31 - 2.49e+009 * BF32 - 1.57e+009 * BF33 + 1.55e+009 * BF34$$

Dimana:

$$BF1 = \max(0, x11 - 3.83)$$

$$BF2 = \max(0, 3.83 - x11)$$

$$BF3 = \max(0, 3.86 - x1)$$

$$BF4 = BF1 * \max(0, 3.86 - x1)$$

$$BF5 = \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, x10 - 3.84)$$

$$BF6 = \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, 3.84 - x10)$$

$$BF7 = \max(0, x11 - 3.83) * \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, 3.84 - x14)$$

$$BF8 = BF5 * \max(0, x2 - 3.8)$$

$$BF9 = BF5 * \max(0, 3.8 - x2)$$

$$BF10 = \max(0, x11 - 3.83) * \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, x26 - 3.8)$$

$$BF11 = \max(0, x11 - 3.83) * \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, 3.8 - x26)$$

$$BF12 = \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, x11 - 3.84)$$

$$BF13 = \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, 3.84 - x11)$$

$$BF14 = BF2 * \max(0, x45 - 0.24)$$

$$BF15 = BF2 * \max(0, 0.24 - x45)$$

$$BF16 = BF1 * \max(0, x45 - 0.0147)$$

$$BF17 = BF1 * \max(0, 0.0147 - x45)$$

$$BF18 = \max(0, x11 - 3.83) * \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, x10 - 3.85)$$

$$BF19 = \max(0, x11 - 3.83) * \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, 3.85 - x10)$$

$$BF20 = BF3 * \max(0, x17 - 3.82)$$

$$BF21 = BF3 * \max(0, 3.82 - x17)$$

$$BF22 = BF12 * \max(0, x13 - 3.84)$$

$$BF23 = BF12 * \max(0, 3.84 - x13)$$

$$BF24 = \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, x45 - 0.0243)$$

$$BF25 = \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, 0.0243 - x45)$$

$$BF26 = \max(0, x11 - 3.83) * \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, x45 - 0.0147)$$

$$BF27 = \max(0, x11 - 3.83) * \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, 0.0147 - x45)$$

$$BF28 = BF12 * \max(0, x17 - 3.84)$$

$$BF29 = BF5 * \max(0, x45 - 0.0348)$$

$$BF30 = BF5 * \max(0, 0.0348 - x45)$$

$$BF31 = \max(0, x11 - 3.83) * \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, x45 - 0.0348)$$

$$BF32 = \max(0, x11 - 3.83) * \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, 0.0348 - x45)$$

$$BF33 = \max(0, x11 - 3.83) * \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, x20 - 3.83)$$

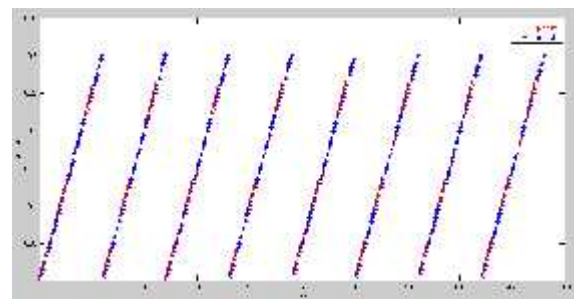
$$BF34 = \max(0, x11 - 3.83) * \max(0, x1 - 3.86) * \max(0, 3.83 - x20)$$

Model di atas diperoleh melalui tahap *forward* dan *backward phase* dalam pembentukan model ASTAR. Pada tahap *forward phase* diperoleh jumlah basis fungsi maksimum. Selanjutnya pada tahap *backward phase*, basis fungsi tidak konstan yang memiliki kontribusi terkecil terhadap variabel respon (Y) akan dihilangkan. Sehingga diperoleh hasil akhir 34 basis fungsi yang meliputi 20 interaksi level pertama dan 14 level kedua. Serta diperoleh 10 variabel prediktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel respon yaitu X1, X2, X10, X11, X13, X14, X17, X20, X26, dan X45.

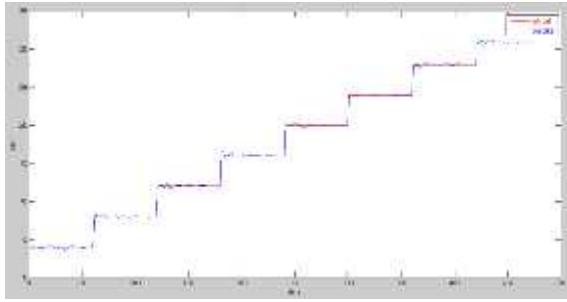
B. Analisis Hasil Prediksi Model Adaptive Spline Threshold Autoregression (Astar)

Berdasarkan model yang diperoleh kemudian dilakukan prediksi terhadap masing-masing nilai variabel respon (Y). Model koefisien emitter digunakan untuk memprediksi besar koefisien emitter sedangkan model letak kebocoran digunakan untuk memprediksi jarak titik kebocoran dari *junction*.

Dibawah ini merupakan grafik perbedaan hasil prediksi dengan data aktual untuk pemodelan koefisien emitter dan letak kebocoran pada pipa antara *junction* 13-2.



Gambar 5. Grafik perbedaan hasil prediksi dengan data aktual untuk pemodelan koefisien emitter pada pipa antara *junction* 13-2.



Gambar 6 Grafik perbedaan hasil prediksi dengan data aktual untuk pemodelan letak kebocoran pada pipa antara *junction* 13-2.

Kedua grafik di atas menunjukkan selisih hasil prediksi dengan data aktual sangat kecil. Dapat dilihat dari hasil plot prediksi dan aktual yang hampir berhimpit.

Kedua model di atas kemudian digunakan untuk memprediksi sejumlah data uji dengan kombinasi besar dan letak kebocoran yang berbeda dari data *training* yang digunakan dalam pemodelan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kehandalan dari model dalam mendeteksi kebocoran.

TABEL 1.

PERBANDINGAN HASIL PREDIKSI DAN DATA ACTUAL MENGGUNAKAN DATA UJI DAN LETAK KEBOCORAN YANG BERBEDA DARI DATA *TRAINING*

Aktual		Prediksi	
Koefisien Emmitter	Jarak dari <i>junc</i> 2	Koefisien Emmitter	Jarak dari <i>junc</i> 2
0.111	1	0.111553741	1.261256259
0.123	1	0.123657669	0.804965646
0.305	1	0.306221516	1.434789416
0.232	3	0.232374251	2.952982485
0.058	3	0.057604825	2.763670392
0.189	3	0.189161527	2.900000274
0.312	3	0.31324944	3.475282219
0.5	13	0.506499336	20.71777
0.302	27	0.301968721	26.96018895
0.222	27	0.221489978	27.12205791
0.173	27	0.172690956	27.09300597

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa koefisien emmitter 0.5 dapat diprediksi dengan akurat. Hal ini disebabkan pola perubahan perilaku variabel prediktor terhadap variabel respon untuk setiap besar kebocoran pada pemodelan koefisien emmitter menunjukkan perilaku berkala. Sedangkan hasil prediksi jarak untuk data dengan koefisien emmitter 0.5 jauh berbeda dari data aktual. Jarak kebocoran 13 m dari *junc* 2 diprediksi 20.72 m. Selisih hasil prediksi dengan aktual sebesar 6.28 m. Berbeda dengan pemodelan koefisien emmitter, pada pemodelan letak kebocoran pola perubahan perilaku variabel prediktor terhadap variabel responnya tidak menunjukkan

perilaku berkala. Untuk deret data tekanan *junction* pada kebocoran dengan koefisien emmitter 0.5 memiliki pola perubahan variabel prediktor terhadap variabel respon yang jauh berbeda dari pola perubahan data *training*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model hanya dapat menghasilkan prediksi letak kebocoran yang akurat pada data kebocoran yang berada sekitar rentang koefisien emmitter 0.005-0.3 atau besar kebocoran 0.01 – 0.6 L/s yang merupakan data *training* pemodelan.

C. Validasi Keakuratan Prediksi

Validasi merupakan proses yang dilakukan untuk melihat kehandalan model dalam melakukan prediksi. Besar kesalahan (*error*) hasil prediksi dari model yang terbentuk dapat diketahui dengan menggunakan perhitungan RMSE (*Root Mean Square Error*). Besarnya nilai *error* menunjukkan besar perbedaan antara hasil prediksi dengan data aktual. Semakin kecil nilai RMSE maka semakin akurat prediksi yang dihasilkan.

Berikut ini perhitungan RMSE yang akan digunakan untuk proses validasi pada penelitian ini :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=h}^N (y_t - \hat{y}_t)^2}$$

$y_{\max} - y_{\min}$

Ket.

- N = banyaknya jumlah data
- y_t = nilai aktual
- \hat{y}_t = nilai prediksi
- y_{\max} = nilai max dari nilai aktual
- y_{\min} = nilai min dari nilai actual

Hasil RMSE rata-rata untuk pemodelan koefisien emmitter adalah 0.001 dan RMSE rata-rata untuk pemodelan letak kebocoran adalah 0.009. Kedua nilai RMSE tersebut menunjukkan bahwa model dapat memprediksi hasil yang akurat.

D. Interface Sistem Deteksi Kebocoran Pipa Air

Melalui *interface* GUI, *user* akan lebih mudah menggunakan model ASTAR yang telah ada untuk mendeteksi kebocoran. Dengan menggunakan tombol yang ada pada tampilan GUI, *user* akan mudah memasukkan data tekanan yang akan dideteksi dan melihat hasilnya secara langsung berupa besar kebocoran dalam L/s dan letak kebocoran yang digambarkan pada peta lokasi.

Berikut hasil dari pembuatan *interface* sistem deteksi kebocoran pipa air dengan menggunakan GUIDE MATLAB R2012b.



Gambar 7 Tampilan GUI Sistem Deteksi Kebocoran Pipa Air dengan menggunakan GUIDE MATLAB

Terdapat dua tombol, tombol “Masukan data” digunakan untuk memasukkan data tekanan setiap *junction* untuk dideteksi dan tombol “Deteksi” untuk melihat hasil prediksi besar dan letak kebocoran. Field “Keterangan” akan menampilkan hasil prediksi dan pada peta lokasi akan muncul penanda berupa titik berwarna merah yang berkedip pada titik kebocoran.

Berikut langkah-langkah penggunaan *interface* GUI.

1. Klik tombol “Masukan data”. Setelah mengklik tombol tersebut, secara otomatis akan membuka file Ms. Excel. Masukkan data pada tabel yang tersedia kemudian *save* dan *close* file Excel.
2. Klik tombol “Deteksi”.



Gambar 8. Tampilan GUI hasil deteksi

Gambar 8 menampilkan hasil deteksi setelah menerapkan model ASTAR terhadap deret data tekanan *junction* yang dimasukkan. Pada *field* keterangan akan muncul hasil prediksi berupa jarak (m) dari *junction* dan besar kebocoran (L/s). Hasil prediksi koefisien emitter dikonversi ke dalam satuan debit (L/s) menggunakan persamaan (1) yang terdapat pada Bab 3. Titik merah pada peta lokasi menandakan letak kebocoran pada jaringan pipa.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Sistem deteksi kebocoran menggunakan metode ASTAR dapat memberikan informasi yang akurat

mengenai besar dan letak titik kebocoran yang terjadi sehingga mempersempit wilayah observasi lapangan saat mendeteksi kebocoran.

2. Hasil RMSE rata-rata untuk pemodelan koefisien emitter adalah 0.001 dan RMSE rata-rata untuk pemodelan letak kebocoran adalah 0.009. Kedua nilai RMSE tersebut menunjukkan bahwa model ASTAR yang dibuat dapat mendeteksi kebocoran dengan hasil yang akurat.
3. Model ASTAR yang terbentuk memiliki keterbatasan yakni hanya dapat memberikan hasil deteksi yang baik pada data kebocoran yang berada pada rentang sekitar 0.01-0.6 L/s.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andriani, Rina. 2009. *Pemodelan Indeks Harga Konsumen Kelompok Bahan Makanan menggunakan Metode Intervensi dan Regresi Spline*. Skripsi. Jurusan Statistika FMIPA-ITS. Surabaya.
- [2] Amin, M.B. 2011. *Komputasi Analisis Hidraulika Jaringan Pipa Air Minum*. Makalah Seminar Nasional Kebumihan 2011. Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan.
- [3] Djamal, I., Ali, F., Nugroho, R., Kretarto, A., dan Utami, R. (2009), Penurunan Kehilangan Air Pengalaman Jakarta Setelah Kerjasama Pelayanan Air Minum Pemerintah-Swasta 1998-2008 : Jakarta : Badan Regulator PAM Jakarta
- [4] Febriyanti, A., dkk.. 2012. *Penerapan Metode Multivariate Adaptive Regression Spline (Mars) Untuk Mengidentifikasi Komponen Yang Berpengaruh Terhadap Peringkat Akreditasi Sekolah (Kasus Sma/Ma Di Propinsi Sumatera Barat)*. Jurnal Matematika UNAND Vol. 2 No. 2 Hal. 44-53, ISSN : 2303-2910. Jurusan Matematika FMIPA UNAND, Padang.
- [5] Friedman, J.H. 1991. *Multivariate Adaptive Regression Splines*. The Annals of Statistics 19 : 1 – 67
- [6] Fuchs, H.V. and Riehle, R. 1991. *Ten years of experience with leak detection by acoustic signal analysis*. App. Acoust. 33(1), 1-19.
- [7] Lewis, P.A.W and J.C. Stevens. 1991. *Nonlinear Modelling of Times Series Using Multivariate Adaptive Regression Splines*. Journal of the American Statistical Association. Vol. 86. No. 416. pp. 864-877.
- [8] Maxford, John, dkk. 2009. *An Application of Pattern Recognition for the Location and Sizing of Leaks in Pipe Networks*. Urban Water Security Research Alliance
- [9] Priambudi, Aditya Kresna. 2006. *Regresi Spline Berganda Untuk Peramalan Suhu dan Kelembaban*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [10] Sutikno. 2002. *Penggunaan Regresi Splines Adaptif Berganda untuk Peramalan Indeks ENSO dan Hujan Bulanan*. Tesis. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [11] Sutikno, dkk. 2010. *Prakiraan Cuaca dengan Metode Autoregressive Integrated Moving Average, Neural Network, dan Adaptive Splines Threshold Autoregression di Stasiun Juanda Surabaya*. Jurnal Sains Dirgantara Vol. No. 1 Desember 2010 :43-61
- [12] Ulpah, Maria. 2008. *Perbandingan Model Aditif Terampat dan Regresi Spline Adaptif Berganda (Studi Kasus: Pemodelan Indeks Prestasi Kumulatif Mahasiswa IPB dan STAIN Purwokerto)*. Institut Pertanian Bogor, Bogor
- [13] Mashford, J et al. (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.
- [14] Rossman, L.A., EPANET 2 User's Manual, U.S. Environment Protection Agency, Cincinnati, Ohio, U.S.A., 2000.

