



KAJI EKSPERIMENTAL MODEL KEBOCORAN AIR PADA ALIRAN PIPA SERI DUA FASE PLUG MENGGUNAKAN ANALISA FLUKTUASI BEDA TEKANAN

Danny Erwanto (421304289)

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

email: erwantodanny@gmail.com

ABSTRAK

Water is a basic need for human, animal and plant life. The management of clean water service in Surabaya city is implemented by PDAM Surya Sembada Surabaya. In serving the needs of clean water, many problems arise such as water pressure in certain unstable areas, TDA (Can not Water) complex, leaking pipes and so on. To detect leakage of pipes, PDAM generally still use manual system, that is by seeing the naked eye or from residents report about leakage and not flowing water at home of citizen. With the development of technology, pipeline leak detection system is done quickly and automatically and supported by the theories of physics and related research.

The purpose of this study was to detect the accuracy of water leakage points using pressure difference fluctuations in the two-phase series plug pipe flow and to know the water loss resulting from the leak. The research method was carried out using the model of the two-phase series pipe plug flow test in pvc pipe with diameter 12 mm and diameter 25 mm, the length of pipe 10000 mm without altitude, pipe length 2170 mm with height 500 mm above ground respectively with different valve rotation- different. This test uses the soundsens i tool connected to RADCOM Technologies Ltd software.

Pipe leak detection results show if the detection accuracy using pressure difference fluctuation analysis, where the influence of the variation of the valve rotation determines the location of the water leakage point. Where in test model pipe diameter 12 mm and 25 mm if hole leakage 1 mm hence water pressure at valve full rotated (full) and vice versa if hole leak 5 mm then valve rotated small. Where the lower the placement the better the detection of soundsens tool. The percentage of water loss due to pipeline leakage can be seen that the larger the diameter of the pipe hole the higher the percentage of water loss.

Keywords: valve, pipe diameter, leakage hole, debit, soundsens i

I. PENDAHULUAN

Air merupakan suatu kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan. Pemanfaatan air bagi kebutuhan hidup manusia sehari-hari seperti keperluan untuk masak, mandi, mencuci, dan keperluan pokok lainnya haruslah memenuhi

persyaratan, baik dari segi kualitas maupun kuantitasnya.

Dalam melayani kebutuhan air bersih, banyak sekali masalah yang timbul seperti tekanan air di wilayah tertentu tidak stabil, TDA (Tidak Dapat Air) kompleks, pipa bocor dan sebagainya. Untuk mendeteksi

kebocoran pipa, PDAM umumnya masih menggunakan sistem manual, yaitu dengan melihat secara kasat mata atau dari laporan warga tentang adanya kebocoran serta tidak mengalirnya air di rumah warga. Dengan berkembangnya teknologi, sistem deteksi kebocoran pipa dilakukan secara cepat dan otomatis serta didukung oleh teori-teori fisika dan penelitian terkait. Seperti yang telah dilakukan, Baghdadi dan Mansy (dalam Duwi, 2016) melakukan pemodelan secara matematis dan pengujian eksperimental untuk menentukan letak kebocoran pipa. Pengujian eksperimental dilakukan dengan menggunakan pipa pvc dengan panjang 12 m dan diameter dalam 26 mm, tiga buah orifice meter untuk mengukur debit air masuk, dan tabung pitot untuk mengukur debit air keluar. Titik kebocoran berada pada jarak x dari alat ukur debit air masuk. Berdasarkan hal yang dilakukan tersebut diperoleh bahwa letak kebocoran pipa merupakan fungsi dari debit fluida masuk dan debit fluida keluar pada pipa.

II. DASAR TEORI

2.1 Pengertian Energi Air

Setiap benda / zat mempunyai energi atau dengan kata lain setiap benda mempunyai kemampuan untuk melakukan kerja, begitu juga air mempunyai energi. Energi air merupakan salah satu dasar Hidrolika Perpipaan.

Air merupakan zat berbentuk cairan, maka air juga dapat ditekan di dalam pipa, maka air juga mempunyai bentuk energi tekanan, karena bila tekanannya lebih besar dari kekuatan pipa dapat memecahkan pipa, berarti dapat melakukan kerja. Dengan begitu air mempunyai 2 (dua) bentuk energi yakni :

1. Energi kecepatan (energi kinetik)
2. Energi ketinggian (energi potensial)

2.1 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas adalah salah satu persamaan dasar pada hidrolika yang berkaitan dengan sistem pengaliran air (aliran bertekanan tertutup maupun terbuka).

Persamaan ini menyatakan bahwa suatu pengaliran tidak akan berubah debitnya selama tidak ada *input* maupun *output* lain. Perubahan luas penampang aliran tidak mempengaruhi debit. Persamaan kontinuitas dinyatakan sebagai berikut:

$$Q = A \cdot v$$

Keterangan:

Q = debit aliran (m^3/s)

A = luas penampang aliran (m^2)

v = kecepatan aliran (m/s)

2.3 Pipa Seri

Bila dua pipa atau lebih dengan diameter atau kekasaran yang berbeda disambungkan memanjang dalam satu jalur, maka disebut perpipaan seri. Dalam pipa seri, total kehilangan energi adalah jumlah dari masing-masing *minor loss* dan semua *friktion losses*. Debit yang mengalir pada sistem pipa seri adalah sama sepanjang aliran.

2.4 Pipa Paralel

Kombinasi dari dua atau lebih pipa yang disambungkan diantara dua titik sehingga aliran terbagi pada sambungan pertama dan bergabung kembali pada sambungan kedua disebut pipa paralel. Headloss di antara sambungan adalah sama untuk semua pipa

2.5 Metode Perhitungan

Metode perhitungan yang digunakan adalah metode analisa regresi *Root Mean Squared Error* (RMSE). Metode ini digunakan untuk mengevaluasi model regresi linier. RMSE dihitung dengan mengkuadratkan *error (predicted-observed)* dibagi dengan jumlah data (rata-rata) lalu diakarkan. Secara matematis, rumusnya ditulis sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P-a)^2}$$

Keterangan:

n = Jumlah data masukan

P = Nilai aktual

a = Nilai hasil prediksi

P_{max} = Nilai maksimum data aktual
 P_{min} = Nilai minimum data aktual

2.6 Soundsens

Soundsens adalah suatu alat kinerja tinggi, noise-noise multi titik sistem korelasi yang menggabungkan kemudahan penggunaan dengan yang baru standar dalam kinerja *pinpoint* yang bocor. Sistem ini terdiri dari polong korelasi yang sangat sensitif dan terkoneksi sendiri, yang merekam sejumlah data sampel pada saat pengujian ketika ditempatkan di jaringan.



Gambar 2.1 Soundsens i

SoundSens correlator polong benar-benar tahan air, bertenaga baterai dan akan membutuhkan perawatan minimal selama lima tahun. Perangkat lunak *Windows* yang khusus mudah dan cepat prosesnya data ini di download melalui program atau software *RADCOM Technologies Ltd*, yang memberikan data lokasi yang sangat akurat untuk menunjukkan kebocoran pada area pengujian.

Alat ini merupakan kombinasi desain sensor khusus untuk pengambilan sampel data dan penyimpanan data. Perangkat lunak pengolah data memberikan tingkat kinerja yang tinggi, menggunakan kecepatan dan efektivitas multi- titik penyebaran.

Kumpulan kumparan *correlator soundsens* dapat dibawa ke lokasi di tiga ukuran *carry case*, mengandung 2, 6 atau 12 polong masing-masing. Sejumlah kasus dapat dihubungkan bersama untuk memungkinkan survei berskala besar.

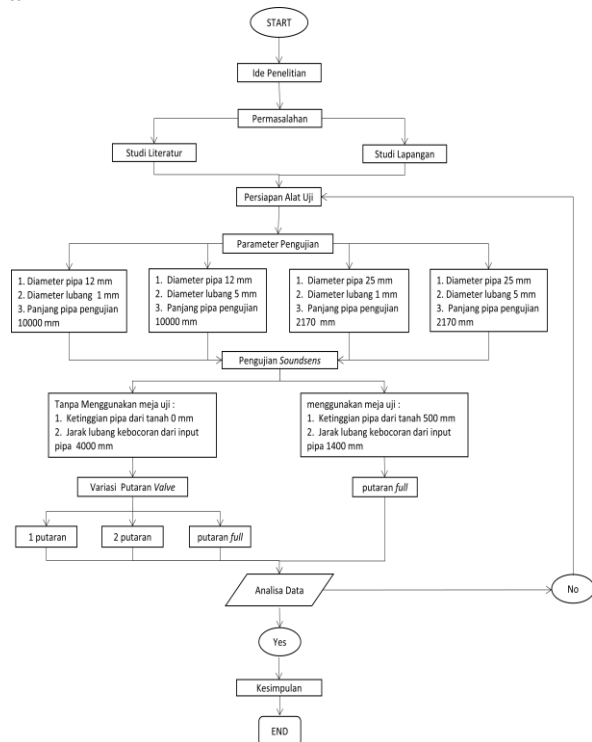
Fitur :

- Korelasi multi-titik otomatis
- Deteksi kebocoran kinerja tinggi
- Mudah penyebaran

- Beberapa korelasi cepat dengan cepat tutup area yang luas
- Pemrosesan lanjutan dan pelaporan perangkat lunak
- Pemeliharaan bebas selama 5 tahun
- Pemasangan fleksibel 2 sampai lebih 36 korelasi polong
- Penyerahan segera atau berjangka waktu untuk pekerjaan malam yang tidak dijaga
- Alat yang sangat sensitif dengan digital penyaringan untuk memungkinkan hasil yang luar biasa selama hari kerja

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang sistematis dan terstruktur dalam bentuk diagram alir. Berikut adalah langkah - langkah diagram alir



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1 Parameter Pengujian

Dalam hal ini, penulis menentukan 4 parameter pengujian, yaitu:

1. Parameter pertama:
 - a) Diameter pipa berukuran 12 mm
 - b) Diameter lubang kebocoran 1 mm dan 5 mm
 - c) Panjang pipa pengujian 10000 mm

2. Parameter kedua :
 - a) Diameter pipa berukuran 25 mm
 - b) Diameter lubang kebocoran 1 mm dan 5 mm
 - c) Panjang pipa pengujian 10000 mm
3. Parameter ketiga :
 - a) Diameter pipa berukuran 12 mm
 - b) Diameter lubang kebocoran 1 mm dan 5 mm
 - c) Panjang pipa pengujian 2170 mm
4. Parameter keempat :
 - a) Diameter pipa berukuran 25 mm
 - b) Diameter lubang kebocoran 1 mm dan 5 mm
 - c) Panjang pipa pengujian 2170 mm

3.2 Pengujian Model *Soundsens*

Pengambilan data dalam penelitian ini adalah mengumpulkan data-data setiap sekali pengujian merekam data sebanyak tiga kali dalam durasi waktu 9 menit. Pengujian dengan parameter yang berbeda-beda sesuai dengan model yang telah dibuat. Model pengujian yang dibuat ada 2 jenis, yaitu :

1. Model pengujian menggunakan meja uji



Gambar 3.2 Model pengujian menggunakan meja uji

Pada model pengujian menggunakan meja uji dilakukan 2 macam model pengujian, yaitu :

- 1) Model pengujian pipa lurus diameter 12 mm, panjang pipa 2.17 meter menggunakan ketinggian 0.5 meter diatas tanah
- 2) Model pengujian pipa lurus diameter 25 mm, panjang pipa 2.17 meter menggunakan ketinggian 0.5 meter diatas tanah

Dalam proses uji, 2 model pengujian diatas dilakukan pengambilan data sebanyak 3 kali trial dan setiap trial berdurasi 2 menit dengan jeda waktu 1 menit atau durasi waktu pengujian selama 9 menit. Variasi putaran *valve full* semua selama waktu pengujian.

2. Model pengujian tanpa menggunakan meja uji



Gambar 3.3 Model pengujian tanpa menggunakan meja uji

Pada model pengujian tanpa menggunakan meja uji dilakukan 4 macam model pengujian, yaitu :

- 1) Model pengujian pipa lurus diameter 12 mm, diameter lubang 1 mm dengan panjang pipa 10 meter
- 2) Model pengujian pipa lurus diameter 12 mm, diameter lubang 5 mm dengan panjang pipa 10 meter
- 3) Model pengujian pipa lurus diameter 25 mm, diameter lubang 1 mm dengan panjang pipa 10 meter
- 4) Model pengujian pipa lurus diameter 25 mm, diameter lubang 5 mm dengan panjang pipa 10 meter

Dalam proses uji, 4 model pengujian diatas dilakukan pengambilan data sebanyak 3 kali trial dan setiap trial berdurasi 2 menit dengan jeda waktu 1 menit atau durasi waktu pengujian selama 9 menit. Variasi putaran *valve* ada 3 macam, yaitu:

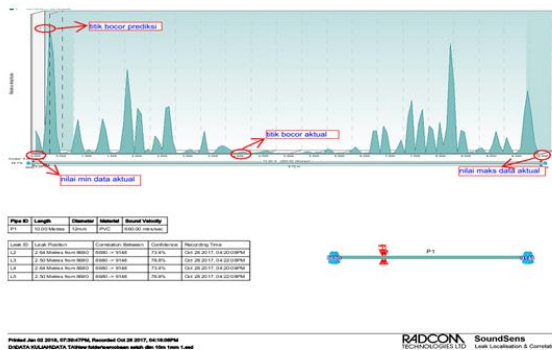
- 1) Putaran *valve* 1 putaran
- 2) Putaran *valve* 2 putaran
- 3) Putaran *valve full*

Untuk mengetahui nilai fluktuatif grafik dan penentuan titik kebocoran air, maka dilakukan pemasangan *logger*

correlator. Pemasangan logger correlator diletakkan diujung pipa input dan output yang fungsinya untuk merekam suara kebocoran air kemudian dikoneksikan dengan soundsens dan software yang digunakan. Selama itu dilakukan record data aliran input air dan tekanan yang masuk ke dalam model pengujian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data hasil pengujian



Gambar 4.a Fluktuasi beda tekanan hasil pengujian alat soundsens

Tabel 4.a Data hasil pengujian pipa lurus diameter 12 mm ,diameter lubang 1 mm dengan panjang pipa 10 meter

NO	Variasi		Trial ke-	Putaran valve	Jarak Bocoran	
	Diameter Pipa (mm)	Diameter bocoran (mm)			Aktual	Prediksi
					(meter)	(meter)
1	12	1	1	1 putaran	4	0.28
			2	1 putaran	4	2.64
			3	1 putaran	4	2.5
2	12	1	1	2 putaran	4	2.08
			2	2 putaran	4	3.26
			3	2 putaran	4	3.26
3	12	1	1	Full	4	2.5
			2	Full	4	3.13
			3	Full	4	3.13

Tabel 4.b Data hasil pengujian pipa lurus diameter 12 mm ,diameter lubang 5 mm dengan panjang pipa 10 meter

NO	Variasi		Trial ke-	Putaran valve	Jarak Bocoran	
	Diameter Pipa (mm)	Diameter bocoran (mm)			Aktual	Hasil Prediksi
					(meter)	(meter)
1	12	5	1	1 putaran	4	3.19
			2	1 putaran	4	3.19
			3	1 putaran	4	3.19
2	12	5	1	2 putaran	4	1.81
			2	2 putaran	4	7.64
			3	2 putaran	4	7.57
3	12	5	1	Full	4	1.74
			2	Full	4	1.81
			3	Full	4	1.81

Tabel 4.c Data hasil pengujian pipa lurus diameter 25 mm ,diameter lubang 1 mm dengan panjang pipa 10 meter

NO	Variasi		Trial ke-	Putaran valve	Jarak Bocoran	
	Diameter Pipa (mm)	Diameter bocoran (mm)			Aktual	Hasil Prediksi
					(meter)	(meter)
1	25	1	1	1 putaran	4	3.46
			2	1 putaran	4	3.33
			3	1 putaran	4	8.89
2	25	1	1	2 putaran	4	0.38
			2	2 putaran	4	8.21
			3	2 putaran	4	6.47
3	25	1	1	Full	4	7.24
			2	Full	4	3.21
			3	Full	4	3.08

Tabel 4.d Data hasil pengujian pipa lurus diameter 25 mm ,diameter lubang 5 mm dengan panjang pipa 10 meter

NO	Variasi		Trial ke-	Putaran valve	Jarak Bocoran	
	Diameter Pipa (mm)	Diameter bocoran (mm)			Aktual	Hasil Prediksi
					(meter)	(meter)
1	25	5	1	1 putaran	4	3.46
			2	1 putaran	4	3.01
			3	1 putaran	4	3.4
2	25	5	1	2 putaran	4	7.05
			2	2 putaran	4	3.40
			3	2 putaran	4	7.56
3	25	5	1	Full	4	3.46
			2	Full	4	3.33
			3	Full	4	3.33

Tabel 4.e Data hasil pengujian pipa lurus diameter 12 mm, panjang pipa 2.17 meter menggunakan ketinggian 0.5 meter diatas permukaan tanah

NO	Variasi		Trial ke-	Putaran valve	Jarak Bocoran	
	Diameter Pipa (mm)	Diameter bocoran (mm)			Aktual (meter)	Hasil Prediksi (meter)
1	12	1	1	Full	1.4	2.12
			2	Full	1.4	2.19
			3	Full	1.4	1.17
2	12	5	1	Full	1.4	0.88
			2	Full	1.4	1.24
			3	Full	1.4	2.12

Tabel 4.f Data hasil pengujian pipa lurus diameter 25 mm, panjang pipa 2.17 meter menggunakan ketinggian 0.5 meter diatas permukaan tanah

NO	Variasi		Trial ke-	Putaran valve	Jarak Bocoran	
	Diameter Pipa (mm)	Diameter bocoran (mm)			Aktual (meter)	Hasil Prediksi (meter)
1	25	1	1	full	1.4	0.54
			2	full	1.4	0.54
			3	full	1.4	0.81
2	25	5	1	full	1.4	1.97
			2	full	1.4	1.29
			3	full	1.4	0.07

Tabel 4.g Data pengujian di lapangan diameter 25 mmdan 100 mm, panjang pipa 11.4 meter

NO	Variasi		Trial ke-	Putaran valve	Jarak Bocoran	
	Diameter Pipa 1 (mm)	Diameter Pipa 2 (mm)			Aktual (meter)	Hasil Prediksi (meter)
1	100	12	1	full	3.00	2.79
			2	full	3.00	2.84
			3	full	3.00	2.84
			4	full	3.00	2.84

4.2 Perhitungan Data

A. Akurasi Letak Kebocoran Pipa Air

Dari data hasil pengujian diatas, kemudian dianalisa menggunakan metode *Root Mean Squared Error* (RMSE) untuk mengevaluasi variasi model pengujian yang akurasinya mendekati atau cocok dengan titik kebocoran aktual. Secara matematis sebagai berikut:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P-a)^2}}{P_{max}-P_{min}}$$

Keterangan:

- P = 4 meter (titik bocor actual)
- a₁ = 0.28 meter (titik bocor prediksi trial ke-1)
- a₂ = 2.64 meter (titik bocor prediksi trial ke-2)
- a₃ = 2.50 meter (titik bocor prediksi trial ke-3)
- P max = 10 meter (nilai max data aktual)
- P min = 0 meter (nilai min data aktual)

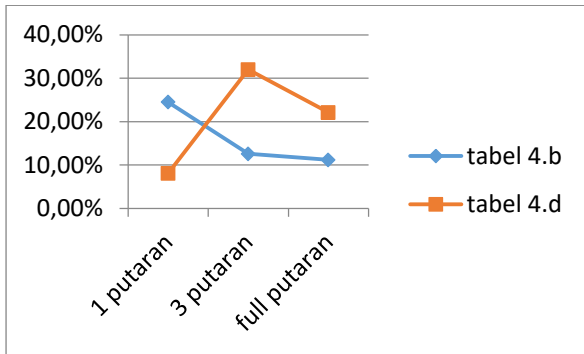
$$\begin{aligned}
 RMSE &= \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P-a)^2}}{P_{max}-P_{min}} \\
 &= \frac{\sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 [(4 m - 0.28 m)^2 + (4 m - 2.64 m)^2 + (4 m - 2.50 m)^2]}}{10 m - 0 m} \\
 &= \frac{\sqrt{\frac{1}{3} [(1.92 m)^2 + (0.74 m)^2 + (0.74 m)^2]}}{10 m} \\
 &= \frac{\sqrt{\frac{1}{3} (4.79 m^2)}}{10 m} \\
 &= \frac{\sqrt{1.59 m^2}}{10 m} \\
 &= \frac{1.26 m}{10 m} \\
 &= 0.126
 \end{aligned}$$

Tabel 4.h Data hasil analisa pengujian pipa lurus diameter 12 mm, diameter lubang 1 mm, panjang pipa 10 meter

NO	Variasi		Trial ke-	Putaran valve	Jarak Bocoran		Deviasi Kebocoran (meter)	RMSE	Prosentase Kesalahan (%)
	Diameter Pipa (mm)	Diameter bocoran (mm)			Actual (meter)	prediksi (meter)			
1	12	1	1	1 putaran	4	0.28	3.72	0.245	24.5
			2	1 putaran	4	2.64	1.36		
			3	1 putaran	4	2.5	1.5		
2	12	1	1	2 putaran	4	2.08	1.92	0.126	12.6
			2	2 putaran	4	3.26	0.74		
			3	2 putaran	4	3.26	0.74		
3	12	1	1	Full	4	2.5	1.5	0.112	11.2
			2	Full	4	3.13	0.87		
			3	Full	4	3.13	0.87		

Tabel 4.i Data hasil analisa pengujian pipa lurus diameter 12 mm, diameter lubang 5 mm, panjang pipa 10 meter

NO	Variasi		Trial ke-	Putaran valve	Jarak Bocoran		Deviasi kebocoran (meter)	RMSE	Prosentase Kesalahan (%)
	Diameter Pipa (mm)	Diameter bocoran (mm)			aktual (meter)	prediksi (meter)			
1	12	5	1	1 putaran	4	3.19	0.81	0.081	8.1
			2	1 putaran	4	3.19	0.81		
			3	1 putaran	4	3.19	0.81		
2	12	5	1	2 putaran	4	1.81	2.19	0.52	32
			2	2 putaran	4	7.64	-3.64		
			3	2 putaran	4	7.57	-3.57		
3	12	5	1	Full	4	1.74	2.26	0.221	22.1
			2	Full	4	1.81	2.19		
			3	Full	4	1.81	2.19		



Gambar 4.b Grafik RMSE pengujian pipa lurus diameter 12 mm dan panjang pipa 10 tanpa ketinggian.

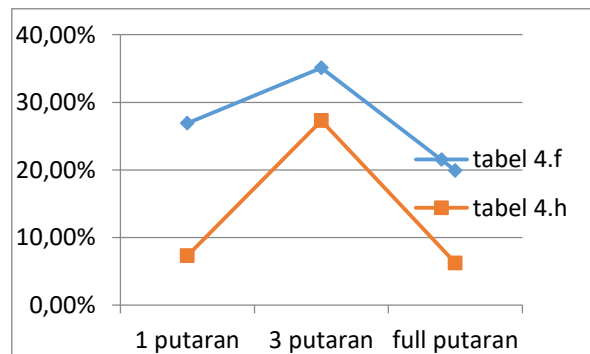
Pada gambar grafik diatas, garis grafik yang berwarna merah titik terkecil atau terendah terletak pada bukaan valve 1 putaran dan pada garis grafik yang berwarna biru titik terkecil terletak pada putaran valve full. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada garis grafik warna merah garisnya menaik yang artinya jika lubang kebocoran pipa besar maka valve diputar kecil (1 putaran) sedangkan untuk garis grafik warna biru garisnya menurun yang artinya jika lubang kebocorannya kecil maka pada saat melakukan pengujian valve harus diputar full. Ini dikarenakan lubang kebocoran berpengaruh terhadap putaran valve dan semakin kecil nilai prosentase kesalahan (error) maka semakin akurat deteksi letak titik kebocoran pipa tersebut.

Tabel 4.j Data hasil analisa pengujian pipa lurus diameter 25 mm, diameter lubang 1 mm dengan panjang pipa 10 meter

NO	Variasi		Trial ke-	Putaran valve	Jarak Bocoran			RMSE	Prosentase Kesalahan (%)
	Diameter Pipa (mm)	Diameter bocoran (mm)			aktual (meter)	Prediksi (meter)	kebocoran (meter)		
2	1 putaran	4	3.33	0.67					
3	1 putaran	4	8.59	-4.59					
2	25	1	1	2 putaran	4	0.38	3.62	0.351	35.1
2	2 putaran	4	8.21	-4.21					
3	2 putaran	4	6.47	-2.47					
3	25	1	1	Full	4	7.24	-3.24	0.199	19.9
2	Full	4	3.21	0.79					
3	Full	4	3.08	0.92					

Tabel 4.k Data hasil analisa pengujian pipa lurus diameter 25 mm, diameter lubang 5 mm dengan panjang pipa 10 meter

NO	Variasi		Trial ke-	Putaran valve	Jarak Bocoran			RMSE	Prosentase Kesalahan (%)
	Diameter Pipa (mm)	Diameter bocoran (mm)			Actual (meter)	prediksi (meter)	kebocoran (meter)		
2	1 putaran	4	3.01	0.99					
3	1 putaran	4	3.4	0.6					
2	12	5	1	2 putaran	4	7.05	-3.05	0.273	27.3
2	2 putaran	4	3.4	0.6					
3	2 putaran	4	7.56	-3.56					
3	12	5	1	Full	4	3.46	0.54	0.062	6.2
2	Full	4	3.33	0.67					
3	Full	4	3.33	0.67					



Gambar 4.c Grafik RMSE pengujian pipa lurus diameter 25 mm dan panjang pipa 10 tanpa ketinggian.

Pada gambar grafik diatas, garis grafik yang berwarna merah titik terkecil atau terendah terletak pada putaran valve full dengan nilai prosentase kesalahannya 6.2% dan pada garis grafik yang berwarna biru titik terkecil terletak pada putaran valve full dengan nilai prosentase kesalahannya sebesar 19.9% .

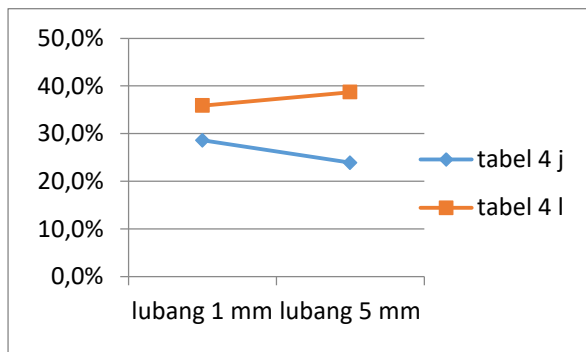
Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada garis grafik warna merah garisnya menurun sedangkan untuk garis grafik warna biru garisnya juga menurun yang artinya jika diameter pipa 25 mm dan diameter lubang yang berbeda-beda maka pada saat melakukan pengujian valve harus diputar full. Ini dikarenakan semakin kecil nilai prosentase kesalahan (error) maka semakin akurat deteksi letak titik kebocoran pipa tersebut.

Tabel 4.l Data hasil analisa pengujian pipa lurus diameter 12 mm, ketinggian pipa 0.5 meter diatas tanah dan panjang pipa 2.17 meter

NO	Variasi		Trial ke-	Putaran valve	Jarak Bocoran		Deviasi kebocoran (meter)	RMSE	Prosentase Kesalahan (%)
	Diameter Pipa (mm)	Diameter bocoran (mm)			Aktual	Prediksi			
					(meter)	(meter)			
1	12	1	1	Full	1.4	2.12	-0.72	0.286	28.6
			2	Full	1.4	2.19	-0.79		
			3	Full	1.4	1.17	0.23		
2	12	5	1	Full	1.4	0.88	0.52	0.239	23.9
			2	Full	1.4	1.24	0.16		
			3	Full	1.4	2.12	-0.72		

Tabel 4.m Data hasil analisa pengujian pipa lurus diameter 25 mm, ketinggian pipa 0.5 meter diatas tanah dan panjang pipa 2.17 meter

NO	Variasi		Trial ke-	Putaran valve	Jarak Bocoran		Deviasi Kebocoran (meter)	RMSE	Prosentase Kesalahan (%)
	Diameter Pipa (mm)	Diameter bocoran (mm)			Aktual	Prediksi			
					(meter)	(meter)			
1	25	1	1	Full	1.4	0.54	0.86	0.359	35.9
			2	Full	1.4	0.54	0.86		
			3	Full	1.4	0.81	0.59		
2	25	5	1	Full	1.4	1.97	-0.57	0.387	38.7
			2	Full	1.4	1.29	0.11		
			3	Full	1.4	0.07	1.33		



Gambar 4.d Grafik RMSE pengujian pipa lurus diameter 12 mm dan 25 mm, panjang pipa 2,17 meter dengan ketinggian 0.5 meter diatas tanah

Pada gambar grafik diatas, garis grafik yang berwarna merah titik terkecil atau terendah terletak pada lubang bocoran 1 mm dan pada garis grafik yang berwarna biru titik terkecil terletak pada lubang bocoran 5 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada garis grafik warna merah garisnya menaik yang artinya semakin besar diameter kebocorannya maka pada saat pengujian valve diputar kecil, sedangkan untuk garis grafik warna biru garisnya menurun yang artinya semakin kecil kebocorannya maka pada saat melakukan pengujian valve harus diputar full. Ini

dikarenakan semakin kecil nilai prosentase kesalahan (*error*) maka semakin akurat deteksi letak titik kebocoran pipa tersebut.

Tabel 4.n Data hasil analisa pengujian di lapangan diameter 25 mm dan 100 mm, panjang pipa 11.4 meter

NO	Variasi		Trial ke-	Putaran valve	Jarak Bocoran		RMSE	Prosentase Kesalahan (%)
	Diameter Pipa 1 (mm)	Diameter Pipa 2 (mm)			Aktual	Prediksi		
					(meter)	(meter)		
1	100	12	1	Full	3	2.79	0.018	1.8
			2	Full	3	2.84	0.014	1.4
			3	Full	3	2.84	0.014	1.4
			4	Full	3	2.84	0.014	1.4

Setelah dilakukan perhitungan data uji di lapangan pada pipa diameter 12 mm dan 100 mm, panjang pipa 11.40 meter, menghasilkan nilai RMSE untuk letak kebocoran sebesar 0.014 dan dapat dilihat bahwa hasil pengujian diatas yang paling mendekati akurasi kecocokannya dengan letak kebocoran pipa dapat dianalisa dengan prosentase kesalahan (*error*) bila dijadikan dalam prosentase sebesar 1.4 %

Berdasarkan data pengujian di lapangan dapat dibandingkan dengan data pengujian model eksperimen yang telah dibuat. Dari hasil perbandingan tersebut dapat diketahui perbandingan akurasi kesalahan yang dideteksi menggunakan alat *sounsens*. Data perbandingan akurasi kesalahan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.o Data perbandingan akurasi kesalahan (*error*) letak kebocoran pipa air

No	Diameter pipa (mm)	Diameter lubang (mm)	Prosentase kesalahan (%)	Keterangan
1	12	1	11,2	Tanpa meja uji
2	12	5	8,1	
3	25	1	19,9	
4	25	5	6,2	
5	12	5	23,9	
6	25	1	35,9	menggunakan meja uji
7	100	-	1,4	uji lapangan

Berdasarkan tabel diatas, akurasi prediksi letak kebocoran pipa menggunakan perhitungan besar kesalahan (*Error*), pada pipa berdiameter 12 mm sebesar 11.2% untuk diameter lubang 1 mm dan 8.1% untuk diameter lubang 5 mm, pada pipa berdiameter 25 mm sebesar 19.9% untuk diameter lubang 1 mm dan 6.2% untuk diameter lubang 5 mm. Adapun untuk pipa

diameter 12 mm yang menggunakan meja uji sebesar 23.9% untuk diameter lubang 5 mm dan 35.9% untuk diameter lubang 1 mm, sedangkan pada uji lapangan sebesar 1,4 % untuk diameter pipa 100 mm.

B. Analisa Kehilangan Air

Dalam penjabarannya, debit kehilangan air yang hilang bisa dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q = A \cdot v$$

$$Ql = A \cdot v$$

$$Vl = Ql \cdot t$$

Keterangan:

- Vl = volume input pipa (m³)
- Vp = volume air yang hilang (m³)
- Qp = debit aliran input pipa (m³/s)
- Ql = debit lubang kebocoran air (m³/s)
- Dp = diameter pipa (m)
- Dl = diameter lubang kebocoran (m)
- v = kecepatan aliran (m/s)
- t = durasi pengujian (*second*)

Untuk valve 12 mm (0.012 m) jumlah putaran full adalah 4 kali putaran valve, maka:

$$\begin{aligned} Ql (1 \text{ putaran}) &= (A_l \cdot v) \\ &= \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,001)^2\right) \cdot (0,88) \\ &= (0,000000785)(0,88) \\ &= 0,000000691 \\ &= 0,691 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Qp (1 \text{ putaran}) &= (A_p \cdot v) \\ &= \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,012^2\right) (0,88) \\ &= (0,00011304)(0,88) \\ &= 0,000099475 \\ &= 99,47 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vl (1 \text{ putaran}) &= (Q_l \cdot t) \\ &= (0,000000691)(540) \\ &= 0,000373 \\ &= 0,373 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vp (1 \text{ putaran}) &= (Q_p \cdot t) \\ &= (0,00009947)(540) \\ &= 0,05371 \\ &= 53,71 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Prosentase debit kehilangan air dapat diketahui dengan membandingkan debit aliran input pipa (Qp) dan debit aliran lubang kebocoran (Ql). Seperti berikut ini:

$$Ql \text{ 1 putaran (1 mm)} = \frac{Q_l}{Q_p} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} &= \frac{0,691 \times 10^{-6}}{99,47 \times 10^{-6}} \\ &= 0,69 \% \end{aligned}$$

$$Vl \text{ 1 putaran (1 mm)} = \frac{V_l}{V_p} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} &= \frac{0,373 \times 10^{-3}}{53,71 \times 10^{-3}} \\ &= 0,69 \% \end{aligned}$$

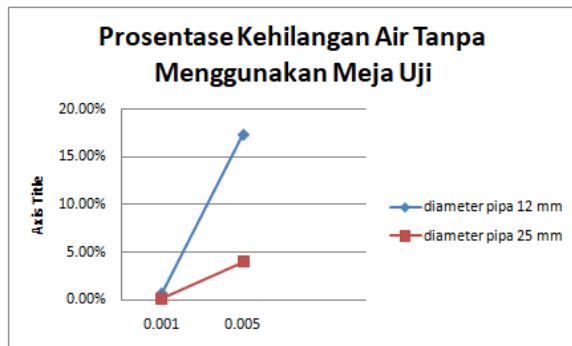
Tabel 4.p Data debit kehilangan air pengujian model kebocoran air pada aliran pipa seri dua *fase plug*

No	Dp (m)	Dl (m)	v (m/s)	t (s)	Putaran Valve	Ql (m ³ /s)	Qp (m ³ /s)	Kehilangan Air (%)
1	0.012	0.001	0.88	540	1 putaran	0.691 x 10 ⁻⁶	99.47 x 10 ⁻⁶	0.69
			0.95		2 putaran	0.745 x 10 ⁻⁶	107.38 x 10 ⁻⁶	0.69
			0.97		Full	0.746 x 10 ⁻⁶	109.65 x 10 ⁻⁶	0.68
2	0.012	0.005	0.88	540	1 putaran	17.27 x 10 ⁻⁶	99.47 x 10 ⁻⁶	17.36
			0.97		2 putaran	19.03 x 10 ⁻⁶	109.65 x 10 ⁻⁶	17.35
			1		Full	19.62 x 10 ⁻⁶	133.04 x 10 ⁻⁶	14.74
3	0.025	0.001	0.63	540	1 putaran	0.494 x 10 ⁻⁶	309.09 x 10 ⁻⁶	0.15
			0.64		2 putaran	0.502 x 10 ⁻⁶	314.00 x 10 ⁻⁶	0.15
			0.72		full	0.565 x 10 ⁻⁶	353.25 x 10 ⁻⁶	0.15
4	0.025	0.005	0.83	540	1 putaran	16.28 x 10 ⁻⁶	407.22 x 10 ⁻⁶	3.99
			0.75		2 putaran	14.71 x 10 ⁻⁶	367.97 x 10 ⁻⁶	3.99
			0.74		full	14.52 x 10 ⁻⁶	363.06 x 10 ⁻⁶	3.99
5	0.012	0.001	1.27	540	full	0.996 x 10 ⁻⁶	143.56 x 10 ⁻⁶	0.69
		0.005				1.16	22.76 x 10 ⁻⁶	131.13 x 10 ⁻⁶
7	0.025	0.001	0.73	540	full	0.573 x 10 ⁻⁶	358.15 x 10 ⁻⁶	0.15
		0.005				0.87	17.07 x 10 ⁻⁶	426.84 x 10 ⁻⁶

Tabel 4.q Data volume kehilangan air pengujian model kebocoran air pada aliran pipa seri dua fase plug

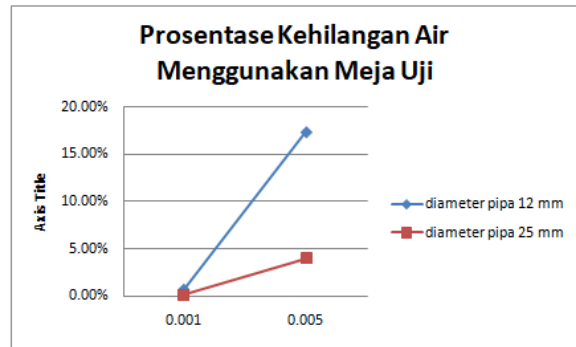
No	Dp (m)	DI (m)	v (m/s)	t (s)	Putaran <i>Valve</i>	Vlt (m ³)	Vpt (m ³)	Kehilangan Air (%)
1	0.012	0.001	0.88	540	1 putaran	0.373×10^{-3}	53.71×10^{-3}	0.69
			0.95		2 putaran	0.402×10^{-3}	57.98×10^{-3}	0.69
			0.97		Full	0.403×10^{-3}	59.21×10^{-3}	0.67
2	0.012	0.005	0.88	540	1 putaran	9.32×10^{-3}	53.71×10^{-3}	17.35
			0.97		2 putaran	10.27×10^{-3}	59.21×10^{-3}	17.34
			1		Full	10.59×10^{-3}	71.84×10^{-3}	14.74
3	0.025	0.001	0.63	540	1 putaran	0.267×10^{-3}	166.91×10^{-3}	0.15
			0.64		2 putaran	0.271×10^{-3}	169.56×10^{-3}	0.15
			0.72		full	0.305×10^{-3}	190.75×10^{-3}	0.15
4	0.025	0.005	0.83	540	1 putaran	8.79×10^{-3}	219.89×10^{-3}	3.99
			0.75		2 putaran	7.94×10^{-3}	198.70×10^{-3}	3.99
			0.74		full	7.84×10^{-3}	196.05×10^{-3}	3.99
5	0.012	0.001	1.27	540	full	0.54×10^{-3}	77.52×10^{-3}	0.69
6	0.012	0.005	1.16	540	full	12.29×10^{-3}	70.81×10^{-3}	17.35
7	0.025	0.001	0.73	540	full	0.31×10^{-3}	193.40×10^{-3}	0.16
8	0.025	0.005	0.87	540	full	9.22×10^{-3}	230.49×10^{-3}	4

Dari tabel diatas, prosentase debit kebocoran air dan volume air yang hilang diatas dapat diketahui bahwa putaran valve tidak mempengaruhi prosentase kehilangan air tetapi besar lubang kebocoran dan diameter pipa yang menentukan prosentase kehilangan air.



Gambar 4.e Grafik hubungan prosentase kehilangan air dengan diameter lubang kebocoran pipa air tanpa meja uji

Berdasarkan gambar diatas, pengujian tanpa meja uji prosentase kehilangan air diameter pipa 12 mm sebesar 0,60% untuk diameter lubang 1 mm dan 17,35% untuk diameter lubang 5 mm. Pada pipa diameter 25 mm sebesar 0.15% untuk diameter lubang 1 mm dan 3.99 untuk diameter lubang 5 mm.



Gambar 4.f Grafik hubungan prosentase kehilangan air dengan diameter lubang kebocoran pipa air menggunakan meja uji

Berdasarkan gambar diatas, pengujian menggunakan meja uji prosentase kehilangan air diameter pipa 12 mm sebesar 0,43% untuk diameter lubang 1 mm dan 10.85% untuk diameter lubang 5 mm. Pada pipa diameter 25 mm sebesar 0.09% untuk diameter lubang 1 mm dan 2.49 untuk diameter lubang 5 mm.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Akurasi deteksi kebocoran pipa menggunakan analisa fluktuasi beda tekanan, dimana pengaruh variasi putaran *valve* menentukan letak titik kebocoran pipa air. Dimana pada model pengujian pipa berdiameter 12 mm dan 25 mm jika lubang kebocorannya 1 mm maka tekanan air pada *valve* diputar penuh (*full*) dan sebaliknya jika lubang kebocorannya 5 mm maka *valve* diputar kecil. Pengaruh ketinggian pipa terhadap letak kebocoran pipa tergantung arah dan percikan suara air. Dimana semakin rendah letak pipa air maka semakin baik deteksi alat uji *soundsens*, ini dikarenakan percikan air tidak akan mengarah kemana-mana.
2. Prosentase kehilangan air akibat kebocoran pipa dapat diketahui bahwa semakin besar diameter lubang pipa maka semakin tinggi prosentase kehilangan air dan letak

pipa juga mempengaruhi prosentase kehilangan air.

SARAN

Adapun saran yang dapat disampaikan, yaitu:

1. Penelitian ini menghasilkan sistem yang dapat mendeteksi akurasi letak titik kebocoran pipa air . Untuk dapat mendeteksi kebocoran perlu mengetahui korelasi jarak kebocoran yang akan dideteksi dan menggunakan komputer dengan performasi yang tinggi untuk dapat mengolah data dalam jumlah besar.
2. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan dapat melakukan prediksi dalam skala besar dan menggunakan model kebocoran yang lebih bervariasi sehingga dapat mendeteksi letak kebocoran pipa dengan lebih akurat.

REFERENSI

1. Anonim.
http://www.atslimited.com/pdf/Sound_Sens_datasheet.pdf. (diakses tanggal 09 Agustus 2017)
2. Anonim. 2017. **Data Bagian Kehilangan Air PDAM Surya Sembada Kota Surabaya**. Surabaya
3. Anonim. 2011. **Energi Air dan Persamaan Bernaulli**.
<http://nrwmalangkota.blogspot.co.id/2011/07/hidrolika-3.html>. (diakses tanggal 07 Maret 2017)
4. Barnston, A., (1992). **Correspondence among the Correlation (root mean square error) and Heidke Verification Measures; Refinement of the Heidke Score**. Notes and Correspondence, Climate Analysis Center
5. James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). **An**

Introduction to Statistical Learning (p. 68). New York: Springer

6. Hariyanto, Duwi. 2016. **Perancangan Alat Deteksi Letak Kebocoran Pipa Pvc Menggunakan Sensor Flowmeter Model Fs300a Berbasis TCP/IP**. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam-Universitas Lampung
7. Masduqi, Ali. 2012. **Hidrolika Perpipaan**. Pelatihan Perusahaan Daerah Air Minum Surya Sembada Kota Surabaya. Surabaya