

DETEKSI KEBOCORAN DAN SUMBATAN PADA JARINGAN PIPA MENGUNAKAN SINYAL SUARA

Riedho Tilma Satria¹, Feblil Huda²

Laboratorium Konstruksi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

¹Riedhosatria@gmail.com, ²feblil.huda@eng.unri.ac.id

Abstract

This research describes the results obtained from experimental studies into the use of acoustic signals to detect leaks and blockages in pipelines. The piping system is an important feature in the industrial world, because it has an effective and efficient transportation function used for delivery such as drinking water, petrochemicals and other liquids. Prevention of damage to either leakage or blockage is very important because it can reduce the number of losses both the economy, the natural environment, even loss of life. The research method used is detection by using acoustic signal. Acoustic signal method is used because it is very sensitive to discontinuities in pipes that can detect problems quickly and precisely which has the advantage of cheaper cost. Acoustic signals are given for leakage, blockage, and joint damage to water and waterless conditions of different sizes and positions. The acoustic signal data is processed by fast Fourier transform and Wavelet Transform methods. From the test results obtained that the amount of damage given is directly proportional to the resulting amplitude. The conclusion is that this is an effective method for the detection of leaks and plugs in simple and enhanced pipes to monitor from more complex pipelines.

Keywords : Sound Signal, Leakage, Blockage, Fast Fourier Transform, Wavelet Transform.

1. Pendahuluan

Sistem perpipaan dalam pendistribusian fluida sangat penting, terutama dalam bidang industri masa kini, misalnya industri gas, pengilangan minyak, maupun industri air minum. Kebutuhan akan sistem pipa saat ini cenderung semakin meningkat sebagai media transportasi dalam pemindahan fluida. Sistem pipa memiliki tingkat integritas yang tinggi serta lebih efektif dan efisien dibanding sistem transportasi lain.

Kebocoran adalah salah satu masalah yang paling penting terkait dengan jaringan pipa. Deteksi dini dan lokalisasi kebocoran sangat penting bukan hanya karena mengurangi kerugian tetapi juga karena keselamatan untuk mencegah berbagai efek bahaya yang disebabkan oleh kebocoran.

Sumbatan pada pipa juga merupakan masalah yang sering ditemui pada jaringan pipa. Sumbatan dapat terjadi akibat adanya endapan pada pipa yang berlangsung dalam kurun waktu tertentu, atau adanya material kasar yang masuk ke dalam sistem pipa. Jika dibiarkan akan berakibat pada rendahnya efisiensi transportasi material, atau bahkan dapat mengakibatkan rusaknya beberapa komponen pendukung sistem pipa akibat *overload* karena sumbatan.

Pendeteksian kebocoran dan sumbatan pada jaringan pipa telah dikembangkan dengan berbagai metode. Salah satu metode yang telah digunakan adalah metode beda tekanan oleh (Santoso, dkk. 2013) yang menggunakan teknologi *Differential Pressure Transducer* (DPT) yang ditempatkan sebelum dan sesudah titik kebocoran untuk merekam beda tekanan. DPT dihubungkan dengan peralatan pengkondisi sinyal dan ADC (*Analog to Digital Converter*) yang menghasilkan data beda

tekanan yaitu dengan menutup salah satu dari ujung pipa dan kemudian tekanan dalam pipa tersebut dinaikkan. Apabila tekanan dalam pipa tersebut tetap, maka tidak terjadi kebocoran, sedangkan apabila tekanan dalam pipa berubah, maka dapat dideteksi telah terjadi kebocoran, kelemahan pada metode ini tidak dapat dideteksi posisi dari kebocoran tersebut.

Berdasarkan hal tersebut maka akan dikembangkan metode penggunaan eksitasi suara dan sinyal suara dalam pendeteksian kebocoran dan sumbatan pada jaringan pipa, salah satu cara dalam melakukan perawatan pendeteksian yaitu dilakukannya prediktif *maintenance* pendeteksian kebocoran dan sumbatan secara dini dengan alat yang mudah dan murah (Huda, dkk. 2010). Pada jaringan pipa menjadi suatu hal yang sangat penting pendeteksian dini untuk dikembangkan demi mencegah kegagalan yang terjadi terhadap pipa.

2. Metodologi

2.1 Jaringan Pipa

Sistem perpipaan merupakan suatu sistem yang digunakan untuk mendistribusikan fluida berupa zat cair dan gas dari suatu titik ke beberapa titik lainnya dengan jarak yang relatif panjang.

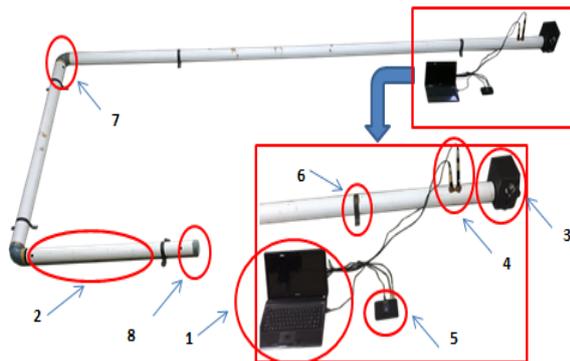
Jaringan perpipaan merupakan suatu rangkaian pipa tunggal yang saling terhubung satu pipa dengan pipa yang lainnya, sehingga apabila di satu pipa mengalami kerusakan maka akan terjadi penyebaran pengaruh kerusakan terhadap pipa-pipa lain.

Semakin kompleksnya bentuk jaringan perpipaan maka dibutuhkan sebuah alat untuk mendeteksi kerusakan jaringan perpipaan yang

mudah digunakan oleh operator dan hasil yang cepat diketahui apabila kerusakan itu terjadi.

2.2 Set Up Pengujian

Pada penelitian ini akan dilakukan pendeteksian posisi kebocoran dan sumbatan pada jaringan pipa dengan memberikan eksitasi suara menggunakan speaker dan pengambilan sinyal suara responnya dengan menggunakan mikrofon. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan jaringan pipa yang bentuknya telah ditentukan. Pada tahap awal dilakukan pembuatan sistem eksitasi suara dengan menggunakan speaker. Eksitasi suara yang digunakan adalah suara impuls dari speaker yang dihubungkan ke laptop, sehingga jenis eksitasi bisa diatur dengan baik, sesuai dengan kebutuhan. Dalam melakukan pengujian ini penting untuk diambil beberapa data dan kemudian dirata-ratakan karna dalam kondisi yang sama dapat menghasilkan perbedaan kecil sehingga dibutuhkan beberapa data (Huda, dkk. 2013). *Set up* pengujian pipa dapat dilihat pada Gambar 1 dan keterangan gambar dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1 *Set up* Pengujian

Tabel 1 Komponen dan Keterangan *Set up*

No	Komponen	Keterangan
1.	Laptop	Digunakan untuk menjalankan dan mengolah sinyal <i>output</i> dan <i>input</i>
2.	Pipa PVC	Benda kerja yang akan diteliti
3.	Speaker	Mengubah besaran listrik menjadi suara
4.	Mikrofon	Mengubah besaran suara menjadi besaran listrik.
5.	<i>Sound card</i>	Berperan sebagai ADC sekaligus DAC.
6.	Klem pipa	Digunakan agar pipa tidak bergeser
7.	<i>Elbow 90°</i>	Membuat lekukan pada pipa
8.	Tutup pipa	Agar suara yang ditembakkan dapat dipantulkan

2.3 Pengujian Pipa Kondisi Normal

Pengujian pipa dalam kondisi normal merupakan pengujian pada pipa tanpa mengalami cacat atau kerusakan. Pengujian ini digunakan sebagai acuan atau referensi untuk pengujian pada pipa kondisi bocor dan tersumbat. Kondisi normal dibagi menjadi dua yaitu normal saat tanpa diberikan air dan normal saat diberikan air

2.4 Pengujian Pipa pada Kondisi Kebocoran

Perlakuan pengujian pipa pada kondisi ini sama dengan pengujian kondisi normal, perbedaannya dengan memberikan kerusakan pada pipa berupa lubang dengan menggunakan *drill*. Pada kasus kebocoran diberikan pada dua kondisi yaitu pipa tanpa air dan diisi air dengan jarak yang sama yaitu 2,5 meter dari speaker tanpa air dan 6,5 meter dari speaker menggunakan air. Ukuran lubang kebocoran ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Ukuran Lubang Kebocoran

2.5 Pengujian Pipa pada Kondisi Sumbatan

Prosedur pengambilan data sinyal suara sama dengan pengambilan pada kondisi kebocoran. Pada pengujian ini sumbatan diberikan dengan cara meletakkan plastisin didalam pipa pada kondisi tanpa air dan diisi air pada jarak 6,5 meter dari speaker. Kondisi sumbatan yang diberikan ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3 Sumbatan Tigaperempat

Setelah dilakukan pengujian maka akan dilakukan analisa dan perhitungan *error space*, apakah data sinyal suara yang didapat sesuai dengan posisi sumbatan yang diberikan.

2.6 Cacat Gabungan

Cacat gabungan merupakan kerusakan gabungan yaitu kebocoran dan sumbatan sekaligus. Prosedur pengujian data sinyal suara yang akan diambil sama seperti pengujian sebelumnya. Setelah data sinyal suara diambil lalu akan dianalisa dengan metode *Fast Fourier Transform*

dan *Wavelet Transform* dan dilakukan perhitungan *error space*, apakah sesuai dengan posisi yang ditetapkan sebelumnya.

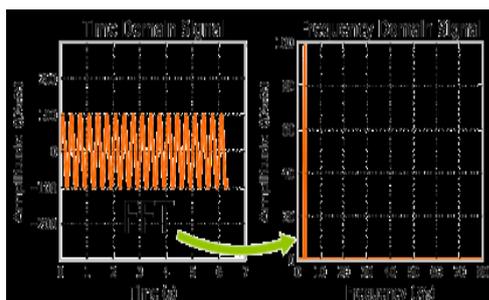
- Tahap I : Sumbatan tigaperempat dan kebocoran 10 mm
 Posisi : 2,5 m dan 6,5 m dari speaker (tanpa air).

2.7 Dasar Metode Deteksi Kebocoran dan Sumbatan

Kerusakan akibat kebocoran dan sumbatan harus dideteksi sedini mungkin, metode deteksi kebocoran dan sumbatan yang akan digunakan pada penelitian ini dijelaskan sebagai berikut, gelombang akustik dalam media fluida sangat sensitif terhadap setiap diskontinuitas didalam sifat-sifat fluida. Jika total energi gelombang akustik diberikan kedalam pipa misalnya dari kiri kekanan pipa, maka dari total energi tersebut sebagian energi akan dipantulkan jika terdapat perbedaan luas penampang dan sebagian energi lagi akan diteruskan. Gelombang reflektif akan terjadi bila ada perubahan dalam luas penampang pipa, sehingga hal ini memudahkan untuk pendeteksian perubahan penampang dalam bentuk sambungan, kebocoran dan sumbatan (Kassandra M. Papadopoulou, 2016)

2.8 Transformasi Fourier

Dengan menggunakan Analisis Fourier maka representasi waktu-amplitudo akan ditransformasikan sehingga menjadi representasi frekuensi-amplitudo. Artinya sumbu x mewakili frekuensi dan sumbu y mewakili nilai amplitudonya. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.

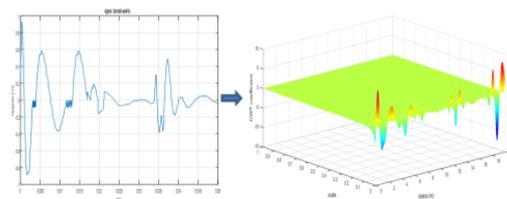


Gambar 4 Time Domain Signal menjadi frequency Domain Signal

Transformasi *Fourier* bersifat reversibel, yaitu suatu fungsi dapat ditransformasi ke dalam domain frekuensi (yang memuat informasi frekuensi-amplitudo), dan diinversikan lagi ke domain waktu (yang memuat informasi waktu-amplitudo). Namun, kedua informasi tersebut tidak bisa didapatkan secara bersamaan. Representasi fungsi dalam domain frekuensi tidak memuat informasi waktu, demikian pula sebaliknya (Vendira, dkk, 2014).

2.9 Wavelet Transform

Tranformasi *Wavelet* merupakan perbaikan dari transformasi *Fourier*. Transformasi *Fourier* hanya dapat menangkap informasi apakah suatu sinyal memiliki frekuensi tertentu ataukah tidak, tapi tidak dapat menangkap dimana frekuensi itu terjadi (Iwan, 2012). Jika Transformasi *Fourier* hanya memberikan informasi tentang frekuensi suatu sinyal, maka transformasi *Wavelet* memberikan informasi tentang kombinasi skala dan frekuensi. Sebagai ilustrasi seperti pada konser musik. Transformasi *Fourier* hanya bisa mengatakan apakah suatu 'nada' tertentu muncul, tapi tidak dapat mengatakan kapan nada itu muncul dan berapa kali. Jika transformasi *Fourier* hanya memberikan informasi tentang frekuensi suatu sinyal, maka transformasi *Wavelet* memberikan informasi tentang kombinasi skala dan frekuensi. Selain itu, transformasi *Fourier* berdasarkan pada basis sin-cos yang bersifat periodik dan kontinu, sehingga sulit jika ingin melakukan perubahan hanya pada posisi tertentu. Transformasi *Wavelet* akan mempunyai tiga koordinat yakni amplitude, translasi dan skala seperti pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5 Analisis Wavelet

Wavelet merupakan keluarga fungsi yang dihasilkan oleh *Wavelet* basis $y(x)$ disebut *mother Wavelet*. Dua operasi utama yang mendasari *Wavelet* adalah:

- 1) Penggeseran, misalnya $y(x-1)$, $y(x-2)$, $y(x-b)$, dan
- 2) Penyekalaan, misalnya $y(2x)$, $y(4x)$ dan $y(2jx)$.

Transformasi *Wavelet* merupakan suatu proses pengubahan data dalam bentuk lain agar lebih mudah dianalisis. Proses transformasi *Wavelet* dapat dilakukan dengan konvolusi atau dengan proses pererataan dan pengurangan secara berulang.

Ada berbagai jenis transformasi *Wavelet*, pada penelitian kali ini penulis menggunakan jenis *Wavelet* yaitu *CWT (Continuous Wavelet Transform)* Cara kerja transformasi ini adalah dengan menghitung konvolusi sebuah sinyal dengan sebuah jendela modulasi pada setiap waktu dengan tiap skala yang diinginkan. Jendela modulasi yang mempunyai skala fleksibel inilah yang biasa disebut induk *Wavelet* (Silalahi, 2010).

Analisis *Wavelet* merupakan sebuah teknik penjendelaan variable (*variable windowing technique*) dan mengijinkan penggunaan interval waktu yang panjang dimana kita menginginkan

informasi frekuensi rendah yang lebih tepat, dan daerah / wilayah yang lebih pendek dimana kita menginginkan komponen-komponen frekuensi yang lebih tinggi (Caraka, 2016)

Analisis *Wavelet* mampu menunjukkan informasi sinyal yang tidak dimiliki oleh analisis sinyal yang lain, seperti kecenderungan, titik yang putus, dan kemiripan. Karena kemampuannya melihat data dari berbagai sisi, *Wavelet* mampu menyederhanakan dan mengurangi *noise* tanpa memperlihatkan penurunan mutu. Keuntungan utama dari analisis *Wavelet* ini adalah untuk menganalisis area lokal pada sinyal yang lebih besar dan dapat menunjukkan lokasi dimana sinyal itu muncul.

3. Hasil dan Pembahasan

Data diolah menggunakan matlab menggunakan program *Fast Fourier Transform* dan *Wavelet Transform* dan dianalisis sesuai dengan kondisi pengujian yang dilakukan. Pipa yang digunakan adalah pipa PVC yang telah ditentukan bentuk jaringan pipanya dengan ukuran 4 inch dengan panjang 10 meter, sehingga untuk mengetahui pengambilan waktu sesuai dengan panjang pipa yaitu.

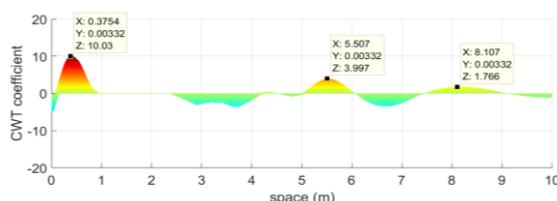
$$\begin{aligned} \text{Waktu sesuai panjang pipa} &= \frac{\text{Panjang pipa}}{\text{Cepat rambat udara}} \\ &= \frac{10 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} = 0,03 \text{ s} \end{aligned}$$

Semua pengujian yang memiliki waktu sepanjang pipa adalah 0,03 s, waktu tersebut merupakan karakteristik sinyal yang muncul di sepanjang pipa yang digunakan pada penelitian. Pada grafik yang ditampilkan berikut merupakan panjang keseleruhan jaringan pipa yaitu sepanjang 10 meter yang terletak pada sumbu x.

3.1 Kondisi Normal

a. Tanpa Air

Grafik sinyal selang waktu dapat memberikan informasi jarak (*space*) dengan cara mengalikan dengan cepat rambat udara. Pada metode *Wavelet Transform* ini didapatkan grafik tiga sumbu yaitu X (*space* (m)), Y (*Scale*), dan Z (*CWT coefficient*). Posisi yang telah ditentukan jarak antara mikrofon dan speaker adalah 0,35 meter, jarak *elbow* pertama 5,5 meter dari speaker dan jarak elbow kedua yaitu 8 meter dari speaker. *Wavelet* pada kondisi normal tanpa air dapat dilihat pada Gambar 6.

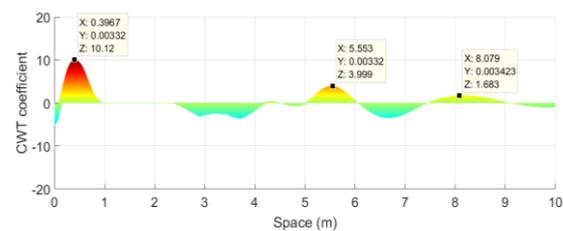


Gambar 6 *Wavelet Transform* Pipa Normal Tanpa Air

Metode *Wavelet* ini dapat memberikan informasi jarak, skala dan *coefficient* secara bersamaan. Grafik sinyal diatas diambil sesuai dengan panjang pipa yang diuji. Pada sumbu X-Y dapat dilihat dengan jelas hasil pantulan sinyal suara yang direkam yang ditimbulkan akibat *microphone* pada puncak pertama yang ditandai dengan warna pekat yang terletak pada jarak 0,3754 meter dan puncak kedua dan ketiga yang menandakan dua buah *elbow* dengan masing-masing jaraknya 5,507 meter dan 8,107 meter. Sinyal normal ini akan digunakan sebagai acuan untuk penganalisaan pada kebocoran, sumbatan dan kerusakan gabungan.

b. Diisi Air

Pada metode *Wavelet Transform* ini didapatkan grafik tiga sumbu yaitu X (*space* (m)), Y (*Scale*), dan Z (*CWT coefficient*). Posisi yang telah ditentukan jarak antara mikrofon dan speaker adalah 0,35 meter, jarak *elbow* pertama 5,5 meter dari speaker dan jarak elbow kedua yaitu 8 meter dari speaker. *Wavelet* pada kondisi normal tanpa air dapat dilihat pada Gambar 7.



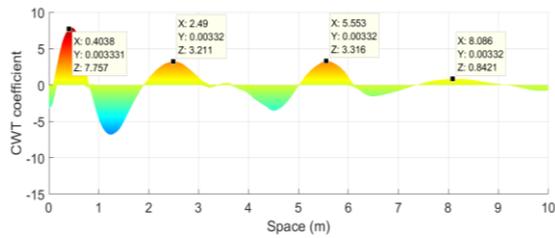
Gambar 7 *Wavelet Transform* Pipa Normal dengan Menggunakan Air

Gambar 7 menunjukkan kondisi normal suatu pipa dengan diisi air, dimana puncak pertama menunjukkan adanya mikrofon yaitu pada jarak 0,3967 meter dari speaker. Kemudian puncak kedua menunjukkan posisi *elbow* dengan jarak 5,563 meter dari speaker, dan puncak ketiga adalah posisi *elbow* kedua dengan jarak 8,079 meter dari speaker.

3.2 Kondisi Kebocoran

a. Kebocoran 10 mm Tanpa Air

Hasil analisa *Wavelet Transform* pada kondisi kebocoran dengan lubang 10 mm dapat dilihat pada Gambar 8. Dari grafik dapat dilihat ada beberapa puncak sinyal yang muncul, puncak pertama mengindikasikan adanya mikrofon yang terletak didalam pipa. Puncak kedua menunjukkan kerusakan buatan berupa kebocoran dengan ukuran 10 mm , puncak ketiga menunjukkan puncak yang timbul akibat dari *elbow* dan puncak keempat juga merupakan puncak dari *elbow*. Kondisi *real* letak posisi mikrofon yaitu 0,35 meter dari speaker, kebocoran pipa diberikan dengan diameter sebesar 10 mm dengan jarak 2,5 meter dari speaker, dan posisi *elbow* masing masing yaitu 5,5 meter dan 8 meter dari speaker dan saat pengujian didapat hasil *Wavelet* seperti terlihat pada Gambar 8.

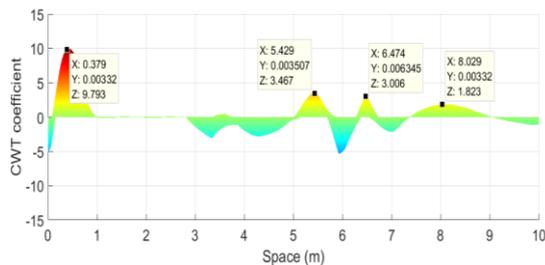


Gambar 8 Wavelet Transform Kondisi Pipa Bocor 10 mm Tanpa Air

Pada Gambar 8 menunjukkan sumbu X-Z yaitu posisi kebocoran 2,49 meter dengan tinggi puncak 3,211. Perbandingan hasil pengujian dengan posisi sesungguhnya selisih 0,01 meter. *Estimation Errors* didapatkan sebagai berikut $EE \text{ Bocor } 10 \text{ mm} = \left(\frac{2.5 \text{ m} - 2.49 \text{ m}}{2.5 \text{ m}} \right) \times 100\% = 0,4\%$.

b. Kebocoran 10 mm Diisi Air

Pada kebocoran pipa dengan diisi air telah ditentukan bentuk dan posisi kerusakan dan dianalisa dengan menggunakan metode *Wavelet Transform* dimana kebocoran tunggal yang diberikan dengan jarak 6,5 meter dari speaker. Lubang yang diberikan menggunakan tool (*drill*) ukuran lubang yang diberikan adalah 10 mm dan posisi *elbow* satu dan *elbow* dua dengan jarak masing-masing 5,5 meter dan 8 meter. Hasil analisa *Wavelet Transform* pada kondisi kebocoran dengan lubang 10 mm dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Wavelet Transform Kebocoran 10 mm pada Kondisi Air

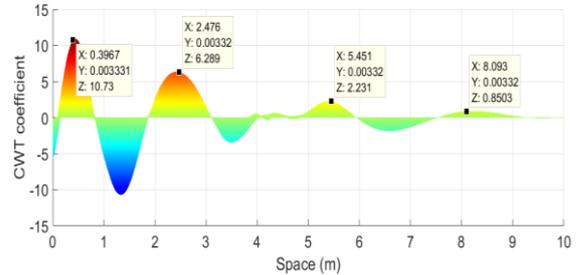
Dari grafik sinyal suara diatas dapat dilihat ada beberapa karakteristik puncak yang muncul. Puncak yang ditunjukkan pada nomor 1 mengindikasikan adanya *microphone* yang terletak didalam pipa, puncak kedua menunjukkan adanya *elbow* pertama dengan jarak 5,429, puncak ketiga dideteksi adanya kerusakan buatan dengan jarak 6,474 meter dan puncak keempat menunjukkan adanya puncak pada *elbow* kedua dengan jarak dideteksi 8,029 meter dari pipa. Selisih hasil pengujian dengan posisi sesungguhnya berbeda 0,026 meter. *Estimation Errors* didapatkan sebagai berikut.

$$EE \text{ Kebocoran } 10 \text{ mm} = \left| \frac{6,5 \text{ m} - 6,474 \text{ m}}{6,5 \text{ m}} \right| \times 100\% = 0,4\%$$

3.3 Kondisi Sumbatan

a. Sumbatan Tigaperempat Tanpa Air

Hasil analisa *Wavelet Transform* pada kondisi sumbatan tigaperempat dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Wavelet Transform Kondisi Sumbatan Tigaperempat

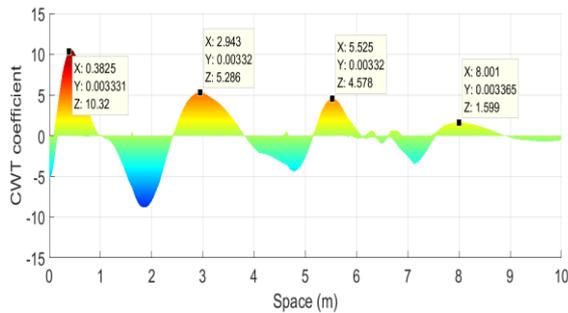
Grafik sinyal suara diatas dapat dilihat ada beberapa karakteristik puncak yang muncul. Puncak pertama mengindikasikan adanya mikrofon yang terletak didalam pipa dengan jarak 0,35 meter dari speaker. Puncak kedua menunjukkan kerusakan buatan berupa sumbatan setengah dengan jarak 2,5 meter dari speaker, puncak ketiga merupakan puncak yang direkam akibat dari *elbow* dengan jarak 5,5 meter dari speaker dan puncak keempat merupakan puncak dari *elbow* kedua dengan jarak 8 meter dari speaker.

Pengujian didapat sumbatan seperempat terjadi pada jarak 2,476 meter dan dengan tinggi puncak 6,283. Posisi awal yang ditetapkan adalah pada posisi 2,5 m. selisih hasil yang didapat pengujian dengan kondisi *real* 0,024 meter. *Estimate error* didapatkan sebagai berikut.

$$EE \text{ Sumbatan Setengah} = \left| \left(\frac{2,5 \text{ m} - 2,476 \text{ m}}{2,5 \text{ m}} \right) \right| \times 100\% = 0,96\%$$

b. Sumbatan Tigaperempat Diisi Air

Pada sumbatan pipa dengan menggunakan air telah ditentukan bentuk dan posisi kerusakan dan dianalisa dengan menggunakan metode *Wavelet Transform* dimana sumbatan tunggal yang diberikan dengan jarak 3 meter dari speaker. sumbatan yang diberikan menggunakan plastisin dengan ukuran tigaperempat dari diameter pipa dan posisi *elbow* satu dan *elbow* dua dengan jarak masing-masing 5,5 meter dan 8 meter. Hasil analisa *Wavelet Transform* pada kondisi sumbatan tigaperempat dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Wavelet Transform Sumbatan Tigaperempat pada Kondisi Air

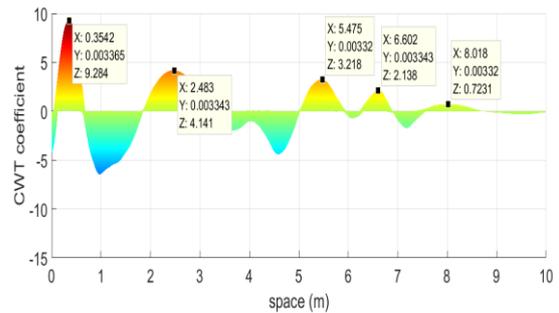
Dari grafik sinyal suara diatas dapat dilihat ada beberapa karakteristik puncak yang muncul. Puncak pertama mengindikasikan adanya mikrofon yang terletak didalam pipa 0,3825, puncak kedua dideteksi adanya kerusakan buatan yang telah dibuat berupa sumbatan tigaperempat dengan jarak 2,943 dari speaker, puncak ketiga menunjukkan adanya puncak pada *elbow* pertama dengan jarak dideteksi 5,525 meter dari pipa, puncak keempat menunjukkan adanya puncak pada *elbow* kedua dengan jarak dideteksi 8,001 meter dari pipa. Selisih hasil pengujian dengan posisi sesungguhnya berbeda 0,057 meter. *Estimation Errors* didapatkan sebagai berikut.

$$EE \text{ Kebocoran } 10 \text{ mm} = \left| \frac{3 \text{ m} - 2,943 \text{ m}}{3 \text{ m}} \right| \times 100\% = 1,9 \%$$

3.4 Kerusakan Gabungan

a. Sumbatan Tigaperempat dan Kebocoran 10 mm Tanpa air

Posisi awal bentuk dan kerusakan pada pipa telah ditetapkan dimana, puncak pertama yaitu mikrofon terletak didalam pipa dengan jarak 0,35 meter dari speaker. Puncak kedua yaitu kerusakan buatan berupa sumbatan tigaperempat dengan jarak kerusakan 2,5 meter dari speaker, puncak ketiga merupakan *elbow* dengan jarak 5,5 meter dari speaker, puncak keempat yaitu kebocoran berdiameter 10 mm dengan jarak kebocoran 6,5 meter dari speaker dan puncak kelima yaitu *elbow* yang kedua dengan jarak 8 meter dari speaker. Hasil analisa *Wavelet Transform* pada kondisi sumbatan tigaperempat dan kebocoran 10 mm dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Wavelet Transform Sumbatan Tigaperempat dan Kebocoran 10 mm (Tanpa Air)

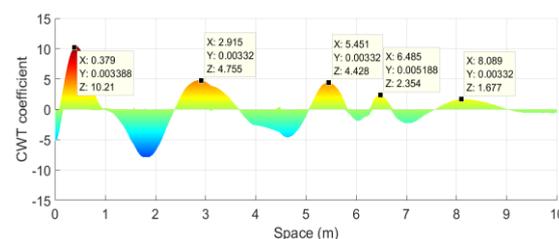
Pada pengujian grafik sinyal suara diatas dapat dilihat dengan analisa *Wavelet Transform* bahwa ada beberapa karakteristik puncak yang muncul. Puncak pertama mengindikasikan adanya mikrofon terdeteksi dengan jarak 0,3542 meter dari speaker, kemudian puncak kedua menunjukkan kerusakan buatan berupa sumbatan tigaperempat dengan jarak kerusakan 2,483 meter dari speaker, puncak ketiga merupakan *elbow* dengan jarak 5,476 meter dari speaker, puncak keempat menunjukkan kebocoran berdiameter 10 mm dengan jarak kebocoran 6,602 meter dari speaker dan puncak kelima yaitu *elbow* kedua dengan jarak 8,018 meter dari speaker.

$$EE \text{ Sumbatan Tigaperempat} = \left| \frac{2,5 \text{ m} - 2,483 \text{ m}}{2,5 \text{ m}} \right| \times 100\% = 0,68 \%$$

$$EE \text{ Lubang } 10 \text{ mm} = \left| \frac{5,5 \text{ m} - 5,476 \text{ m}}{5,5 \text{ m}} \right| \times 100\% = 0,43 \%$$

b. Sumbatan Setengah dan Kebocoran 10 mm Diisi Air

Pada kerusakan gabungan yaitu sumbatan pipa dan kebocoran pipa dengan menggunakan air telah ditentukan bentuk dan posisi kerusakan dan dianalisa dengan menggunakan metode *Wavelet Transform* dimana sumbatan tunggal yang diberikan dengan jarak 3 meter dari speaker, sumbatan yang diberikan menggunakan plastisin dengan ukuran setengah dari diameter pipa, kebocoran 10 mm diberikan pada posisi 6,5 meter dari speaker dan posisi *elbow* satu dan *elbow* dua dengan jarak masing-masing 5,5 meter dan 8 meter. Hasil analisa *Wavelet Transform* pada kondisi sumbatan setengah dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Wavelet Transform Sumbatan dan Kebocoran 10 mm pada Kondisi Air

Dari grafik sinyal suara diatas dapat dilihat ada beberapa karakteristik puncak yang muncul. Puncak pertama mengindikasikan adanya mikrofon yang terletak didalam pipa 0,4038, puncak kedua dideteksi adanya kerusakan buatan yang telah dibuat berupa sumbatan tigaperempat dengan jarak 2,915 meter dari speaker, puncak ketiga menunjukkan adanya puncak pada *elbow* pertama dengan jarak dideteksi 5,451 meter dari pipa, puncak keempat menunjukkan adanya kerusakan yang telah dibuat berupa kebocoran 10 puncak pada posisi 6,486 meter dari speaker dan puncak kelima menunjukkan adanya *elbow* kedua dengan jarak terdeteksi 8,089 meter dari pipa. Selisih hasil pengujian dengan posisi sesungguhnya berbeda 0,057 meter. *Estimation Errors* didapatkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{EE Sumbatan Tigaperempat} &= \left| \frac{3m - 2,915m}{3m} \right| \times 100\% \\ &= 2,83\% \end{aligned}$$

$$\text{EE Kebocoran 10 mm} = \left| \frac{6,5m - 6,486m}{6,5m} \right| \times 100\% = 0,21\%$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan, maka penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Sinyal suara yang diberikan terhadap pipa dapat mengidentifikasi adanya kerusakan kebocoran, sumbatan dan kerusakan gabungan yaitu sumbatan dan kebocoran pada kondisi tanpa air maupun menggunakan air. Kerusakan yang diberikan berbanding lurus dengan besarnya nilai amplitudo (sumbu Z). Semakin besar sumbatan yang diberikan maka semakin besar pula nilai amplitudo yang dihasilkan dan kerusakan gabungan menunjukkan adanya perbedaan puncak yang dideteksi semakin besar kebocoran dan sumbatan didalam suatu jaringan pipa maka puncak (sumbu Z) dimasing kerusakan akan semakin tinggi.

2. Pengidentifikasian posisi dilakukan dengan metode *Wavelet* yang menghubungkan dengan cepat rambat udara. Didapatkan data *estimation error* paling besar yaitu pada pengujian kerusakan berupa sumbatan tigaperempat pada posisi 6,5 meter dari speaker tanpa menggunakan air dengan nilai 2,27%. Perubahan sinyal yang terjadi antara pengujian menggunakan air dan tanpa air menunjukkan karakteristik masing masing dari kerusakan yaitu sinyal yang direkam dengan menggunakan air lebih cepat teredam daripada pengujian tanpa air.

DAFTAR PUSTAKA

1. Caraka Rezzy Eko, 2016, '*(DWT) Wavelet Decomposition Object' Threshold*, Department of Statistics, Faculty of Science and Mathematics, Diponegoro University, Central Java, Indonesia.

2. Huda, Febli., dkk. 2010, 'experimental study of vibration on rotor system due to unbalance mass and misalignment', Poros, Vol 8 No 4
3. Huda, Febli. Dkk. 2013, 'Bolted joint loosening detection by using laser excitation', Health Monitoring of Structural and Biological Systems Vol 8695 No 869531
4. Kurniawan, Iwan. 2012. Diktat Pengolahan Sinyal-UTS. Politeknik Jambi
5. Noya Vendira H. P, F.Y. Rumlawang, Y. A. Lesnussa, 2014, 'Aplikasi Transformasi *Fourier* untuk Menentukan Periode Curah Hujan (Studi Kasus: Periode Curah Hujan di Kabupaten Seram Bagian Barat, Provinsi Maluku)', Jurnal Matematika Integratif ISSN 1412-6184 Vol 10 No 2.
6. Papadopoulou, K, Wang, X, Lennox, B, Turner, J, 2008, '*An evaluation of acoustic reflectometry for leakage and blockage detection*', IMechE Part C, Mechanical Engineering Science, 222 (6), 959-966.
7. Santoso Budi, Indarto, Deendarlianto, Thomas S. Widodo, 2013, 'Deteksi Kebocoran Pipa Pada Aliran Dua Fase Plug Menggunakan Analisis Fluktuasi Beda Tekanan', Jurnal Energi dan Manufaktur Vol.6, No.1.
8. Silalahi Imanuel, Riko Arlando Saragih, 2010, '*Analisa MultiWavelet Untuk Kompresi Suara*', Electrical Engineering Journal ISSN 1979-2867 vol. 1 no. 1