

# DETEKSI KEBOCORAN DAN SUMBATAN PADA PIPA MENGGUNAKAN SINYAL SUARA

Tengku Hamzir Muhardillah Yahya<sup>1</sup>, Feblil Huda<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>hamzirtengku@yahoo.com, <sup>2</sup>feblil.huda@eng.unri.ac.id

## ABSTRACT

*The pipeline system leads an important role and ubiquitous feature of modern society which is used as one of the high integrity fluid transport function, but has a major problem such as leakage and blockage. Detection methods are typically performed using ultrasonic pressure and wave differences at a relatively high price. The research method used is detection by using sound signal. Sound signal method is smart structural health monitoring that can detect problems quickly and precisely which has the advantage that is cheaper cost. Sound signals are given for leakage, blockage, and joint damage to water and waterless conditions of different sizes and positions. The sound signal data is processed by fast fourier transform and wavelet transform methods. From the test obtained the result increase amount of damage given the greater the amplitude generated with the largest estimation error in full blockage condition with water of 5%.*

**Keywords :** Sound signal, leakage, blockage, fast fourier transform, wavelet transform

## 1. Pendahuluan

Sistem perpipaan merupakan bagian penting dari rekayasa, masyarakat modern, maupun infrastruktur. Kebutuhan akan sistem perpipaan cenderung semakin meningkat sebagai media transportasi pemindahan fluida. Sistem perpipaan dianggap memiliki tingkat integritas yang tinggi serta lebih efektif dan efisien dibanding sistem transportasi lain. Dalam aplikasinya di dunia industri, media yang diangkut dalam pipa dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu, cair dan gas. Meskipun sifat fisik dari kedua media berbeda, tetapi masalah yang terkait dengan transportasi kedua media pada sistem perpipaan ini sama yaitu kebocoran dan sumbatan. [1].

Kebocoran adalah salah satu masalah yang paling penting terkait dengan sistem perpipaan. Dalam hal tersebut dapat menimbulkan kerusakan lingkungan sehingga infrastruktur pipa yang dipantau dengan buruk dapat menaikkan biaya dan meningkatkan risiko kerusakan habitat alami dan masyarakat sekitar jika terjadi kebocoran. Sumbatan pada pipa juga merupakan masalah yang sering ditemui pada sistem perpipaan. Sumbatan dapat terjadi akibat adanya endapan pada pipa yang berlangsung dalam kurun waktu tertentu, atau adanya material kasar yang masuk ke dalam sistem perpipaan. Kondisi jika dibiarkan akan berakibat pada rendahnya efisiensi transportasi material, atau bahkan rusaknya beberapa komponen pendukung sistem perpipaan akibat *overload* karena sumbatan. Permasalahan kebocoran dan sumbatan ini akan mengakibatkan penghentian operasi pabrik untuk perbaikan yang tidak terjadwal, atau bahkan kerusakan lingkungan dan ekosistem sekitar pada

daerah dimana sistem perpipaan tersebut melintas, serta yang paling fatal adalah hilangnya nyawa manusia [2].

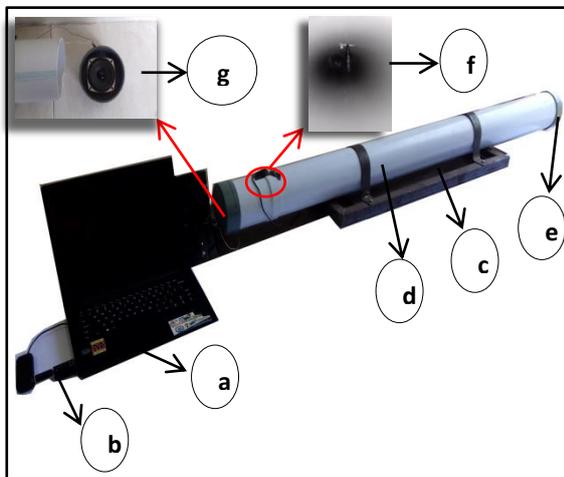
Kebocoran dan sumbatan tersebut dapat dilakukan sebuah pendeteksian dini dan menjadi suatu hal yang sangat penting untuk dikembangkan. Pendeteksian kebocoran dan sumbatan pada pipa telah dikembangkan dengan berbagai metode. Metode yang sering digunakan adalah pengukuran tekanan pada posisi masukan dan keluaran, namun metode ini tidak efektif karena tidak dapat mendeteksi posisi kebocoran dan sumbatan secara seksama, karena perbedaan tekanan yang terjadi ketika ada kebocoran dan sumbatan kecil tidak begitu bermakna, sehingga tidak dapat dipastikan adanya kebocoran dan sumbatan. Oleh karena itu diperlukannya diperlukan *smart structural health monitoring* berupa metode yang dapat mendeteksi permasalahan dengan cepat dan tepat, parameter yang dapat di monitoring dan dideteksi [1].

Metode yang digunakan penulis adalah metode *Fast Fourier Transform* dan *wavelet transform* dengan sinyal suara menggunakan perangkat lunak. Metode dengan sinyal suara memiliki keunggulan yaitu apabila gelombang reflektif akan terjadi akan ada tekanan negatif yang merambat di kedua arah dalam pipa serta perubahan dalam luas penampang pipa, sehingga hal ini memberi peluang untuk pendeteksian perubahan penampang dalam bentuk kebocoran dan sumbatan walaupun ukuran kerusakan kecil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui posisi kebocoran maupun sumbatan dengan menghubungkan cepat rambat udara serta mengetahui karakteristik suatu sinyal terhadap kondisi tanpa air dan diisi air.

## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1 Set Up Pengujian

Pada penelitian ini, dilakukan pendeteksian kerusakan pada pipa PVC. Kerusakan yang diberikan yaitu kebocoran dengan ukuran 10 mm, sumbatan seperempat, dan kerusakan gabungan pada kondisi tanpa menggunakan air. Kerusakan selanjutnya diberikan kebocoran dengan ukuran 3.5 mm dan sumbatan penuh pada kondisi menggunakan air. Pendeteksian tersebut diperlukan beberapa alat dan bahan dalam *set up* pengujian. *Set up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 1. Pengujian dilakukan dengan eksitasi suara sebagai sinyal getaran utama. Eksitasi suara yang digunakan adalah suara impuls. *Loudspeaker* terhubung ke laptop, sehingga jenis eksitasi bisa diatur dengan baik, sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 1 *Set Up* Pengujian

Keterangan:

- a. Laptop
- b. *Soundcard*
- c. Dudukan
- d. Pipa PVC 4 in.
- e. Tutup pipa PVC 4 in
- f. *Microphone*
- g. *Loudspeaker*

*Personal Computer* memiliki fungsi untuk penyimpanan dan mengolah data sinyal suara. Pengolahan sinyal suara ini menggunakan MATLAB 6.5 dengan metode transformasi FFT (*Fast Fourier Transform*) dan *wavelet transform* untuk menggambarkan data dan menganalisis data. *Personal computer* juga terhubung dengan *soundcard* yang berfungsi sebagai penghubung antara *microphone* dan laptop. *Soundcard* tersebut selain sebagai penghubung, juga berfungsi sebagai penerus sinyal suara dari *microphone*.

### 2.2 Pengujian Pipa dalam Kondisi Normal dengan Menggunakan Air dan Tanpa Air

Pengujian pipa dalam kondisi normal merupakan pengujian pada pipa tanpa mengalami cacat atau kerusakan. Pengujian ini dilakukan pada kondisi pipa dengan menggunakan air dan tanpa air. Posisi *speaker* diletakkan diujung pipa dengan *microphone* berjarak 0.17 m dari *speaker*. Setelah data sinyal suara normal didapat maka digunakan sebagai acuan atau perbandingan untuk pengujian pada pipa kondisi kebocoran, tersumbat, dan kondisi kerusakan gabungan (kebocoran dan sumbatan).

### 2.3 Pengujian Pipa dalam Kondisi Kebocoran dengan Menggunakan Air dan Tanpa Air

Langkah pengujian yang dilakukan dalam keadaan pipa mengalami kebocoran sama seperti pengambilan data kondisi pipa dalam keadaan normal. Sebelum melakukan pengambilan data sinyal suara, pipa diberikan kerusakan berupa lubang dengan menggunakan *drill*. Pengujian pipa dalam kondisi kebocoran tanpa air diberikan ukuran lubang 3.5 mm dan dalam kondisi menggunakan air diberikan ukuran lubang 10 mm. Posisi pada kedua kasus sama yaitu pada jarak 1.3 m dari *microphone* dengan jarak *microphone* ke *speaker* 0.17 m. Contoh lubang kebocoran 3.5 mm ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Lubang 3.5 mm

### 2.4 Pengujian Pipa dalam Kondisi Sumbatan dengan Menggunakan Air dan Tanpa Air

Pengujian dilakukan dalam keadaan pipa mengalami sumbatan sama seperti pengambilan data kondisi pipa dalam keadaan normal. Sebelum melakukan pengambilan data sinyal suara, pipa diberikan kerusakan berupa sumbatan dengan menggunakan plastisin. Pengujian pipa dalam kondisi sumbatan tanpa air diberikan sumbatan seperempat dan dalam kondisi menggunakan air diberikan ukuran sumbatan penuh. Posisi sumbatan seperempat pada kondisi tanpa air diletakkan pada 1.1 m dari *microphone* dan posisi sumbatan penuh pada kondisi menggunakan air yaitu 0.4 m dari *microphone* dengan jarak *microphone* ke *speaker* 0.17 m. Contoh jenis sumbatan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Sumbatan Penuh

## 2.5 Pengujian Pipa dalam Kondisi Kerusakan Gabungan Tanpa Menggunakan Air

Pengujian pipa dengan kerusakan gabungan dilakukan pada kondisi tanpa menggunakan air. Kerusakan yang diberikan berupa kebocoran dengan ukuran lubang 10 mm dan jenis sumbatan setengah. Kebocoran 10 mm diletakkan pada posisi 0.6 m dan sumbatan setengah diletakkan pada posisi 1.1 m dari microphone. Jarak *microphone* sama seperti pengujian sebelumnya yaitu 0.17 m dari *speaker*. Setelah data sinyal suara diambil lalu akan dianalisa dengan metode *fast fourier transform* dan *wavelet transform* lalu dilakukan perhitungan *error space*, apakah sesuai dengan posisi yang ditetapkan serta dianalisa apa yang membedakan kondisi sinyal antara sumbatan dan kebocoran.

## 2.6 Wavelet Transform

Transformasi merupakan proses pengubahan data atau sinyal ke dalam bentuk lain agar lebih mudah dianalisis, seperti transformasi *fourier* yang mengubah sinyal ke dalam beberapa gelombang *sinus* atau *cosinus* dengan frekuensi yang berbeda, sedangkan transformasi *wavelet* (*wavelet transform*) mengubah sinyal ke dalam berbagai bentuk *wavelet* basis  $y(x)$  (*mother wavelet*) dengan dua operasi utama yang mendasari *wavelet* adalah [3]:

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

Metode Transformasi berbasis *wavelet* merupakan salah satu sarana yang dapat digunakan untuk menganalisis (meneliti) sinyal-sinyal non-stasioner [4]. Analisis *wavelet* dapat digunakan untuk menunjukkan kelakukan sementara (temporal) pada suatu sinyal, misalnya dalam bidang geofisika (sinyal seismik), fluida, medik dan lain sebagainya [5]. Metode transformasi *wavelet* ini dapat digunakan untuk menapis data atau meningkatkan mutu kualitas data; dapat juga digunakan untuk mendeteksi kejadian-kejadian tertentu serta dapat digunakan untuk pemampatan

data [6] Selain itu transformasi *wavelet* juga dapat digunakan untuk analisis sinyal-sinyal non-stasioner (yaitu sinyal yang kandungan frekuensinya bervariasi terhadap waktu), karena berkaitan dengan kemampuannya untuk memisahkan-misahkan berbagai macam karakteristik pada berbagai skala [7].

## 2.7 Analisa Fourier

Transformasi *Fourier* mendekomposisi sinyal ke bentuk fungsi eksponensial dari frekuensi yang berbeda-beda. Caranya adalah dengan didefinisikan ke dalam dua persamaan berikut:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-2j\pi ft} dt \quad (3)$$

$$x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \cdot e^{2j\pi ft} dt \quad (4)$$

Dalam persamaan tersebut,  $t$  adalah waktu dan  $f$  adalah frekuensi.  $x$  merupakan notasi sinyal dalam ruang waktu dan  $X$  adalah notasi untuk sinyal dalam domain frekuensi. Persamaan (1) disebut Transformasi Fourier dari  $x(t)$  sedangkan persamaan (2) disebut Invers Transformasi Fourier dari  $X(f)$ , yakni  $x(t)$ .

Analisis *fourier* juga digunakan representasi waktu amplitudo akan ditransformasikan sehingga menjadi representasi frekuensi-amplitudo. Artinya sumbu  $x$  mewakili frekuensi dan sumbu  $y$  mewakili nilai amplitudonya. Sebuah representasi selang frekuensi juga dapat mencakup informasi tentang fase pergeseran yang harus diterapkan untuk setiap sinusoid agar dapat bergabung kembali komponen-komponen frekuensi untuk memulihkan sinyal waktu asli. Dalam mengubah domain waktu ke domain frekuensi dapat menggunakan aplikasi MATLAB. Hal ini dilakukan pada saat pengambilan data, data yang didapat berupa sinyal domain waktu. Setelah sinyal data sinyal domain waktu didapat, dengan menggunakan aplikasi MATLAB, sinyal domain waktu tersebut diubah menjadi sinyal domain frekuensi agar didapatkan nilai frekuensi dari masing masing kerusakan [7].

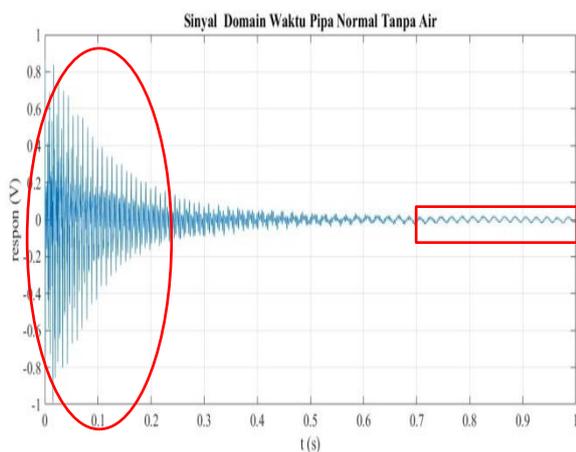
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Kondisi Normal

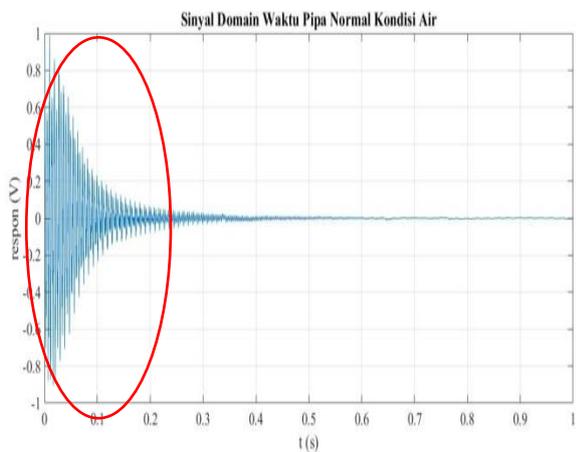
Pengujian pada kondisi normal ini membandingkan antara pengujian menggunakan air dan tanpa air dapat dilihat pada Gambar 4. Sinyal suara pada Gambar 4 merupakan hasil pengkonversian dari sinyal impuls menjadi bentuk spektrum domain waktu. Sumbu horizontal menunjukkan waktu dalam satuan detik (s) sedangkan sumbu vertikal menunjukkan nilai respon dengan satuan volt (v). Sinyal domain waktu tersebut dapat dilihat karakteristik sinyal getar. Domain sinyal waktu tersebut merupakan rata-rata dari pengambilan 10 sampel sinyal normal pada kondisi tanpa air dan diisi air dengan waktu

pengambilan 1 detik dan diolah sehingga mendapatkan grafik sinyal domain waktu dan sinyal domain frekuensi yang telah dianalisa dengan menggunakan metode FFT. Untuk penganalisaan lebih lanjut dengan melakukan pengambilan waktu sesuai panjang pipa yaitu  $\text{detik maksimum pada pipa} = \frac{\text{Total Panjang pipa}}{\text{Cepat rambat udara}}$  (s) maks =  $\frac{1.55 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} = 0.0045 \text{ s}$ . Setelah didapatkan detik maksimum pada pipa, lalu diolah dalam sinyal domain waktu sepanjang pipa yaitu 1.55 m. Maka akan didapatkan grafik sinyal domain waktu sebagai berikut seperti pada Gambar 5.

Pada detik ke 0.0005 s merupakan karakteristik sinyal yang muncul diakibatkan oleh *microphone*. Jarak *microphone* dari *speaker* adalah 0.17 m. Hal ini sesuai dengan kondisi yang sebenarnya yaitu  $0.0005 \text{ s} \times 340 \text{ m/s} = 0.17 \text{ m}$ . Detik berikutnya tidak ada karakteristik yang muncul seperti munculnya kurva kurtosis akibat tutup pipa pada detik 0.004.5 s. Oleh karena itu grafik sinyal domain waktu diambil dan dapat diolah kedalam metode *wavelet* yang terdapat dalam *software*.

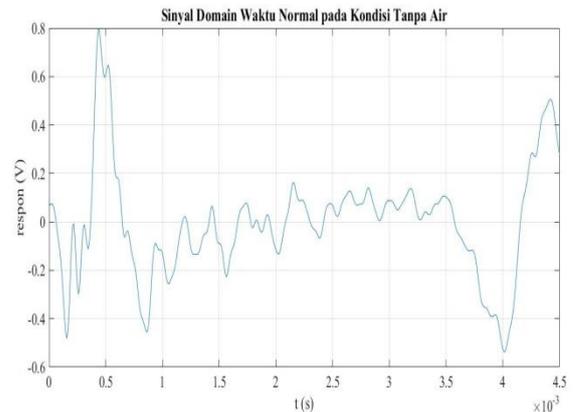


(a)

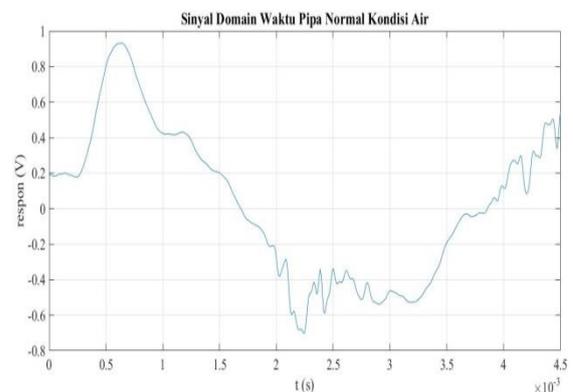


(b)

Gambar 4 Selang Waktu Kondisi Normal (a) Tanpa Air, (b) Diisi Air



(a)

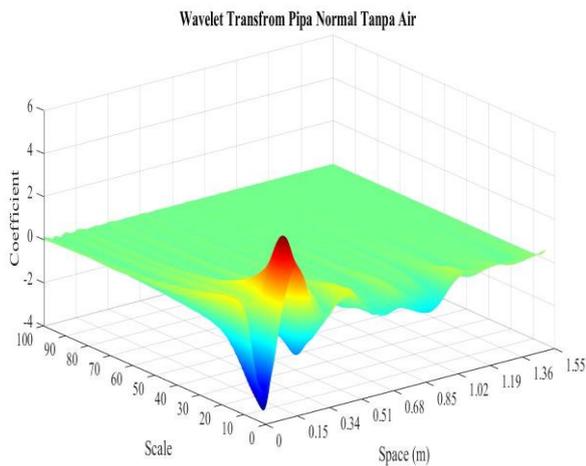


(b)

Gambar 5 Sinyal Domain Waktu Kondisi Normal Sepanjang pipa (a) Tanpa Air, (b) Menggunakan Air

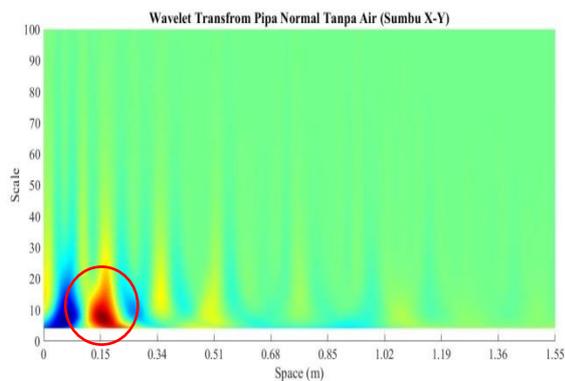
Grafik sinyal domain waktu dapat memberikan informasi jarak (*space*) dengan cara menghubungkan dengan cepat rambat udara. Pada metode *wavelet* ini didapatkan grafik tiga sumbu yaitu X (*Time* (s)), Y (*Scale*), dan Z (*CWT coefficient*) dengan fungsi analisa sebuah gelombang yang dibatasi waktu, ukuran *window* bervariasi dan jumlah osilasi tetap, oleh karena itu frekuensi pada *wavelet* berubah seiring perubahan skala dengan menunjukkan pola pekat warna mengindikasikan adanya sebuah energi dan semakin pekat suatu warna yang timbul maka *coefficient* yang dihasilkan besar pula. Pada sumbu Z yaitu *coefficient* juga merupakan nilai amplitudo dari sebuah puncak. Hasil metode *wavelet* pada kondisi normal tanpa air dapat dilihat pada Gambar 6.

Metode *wavelet* ini dapat memberikan informasi waktu, skala dan *coefficient* secara bersamaan. Dari grafik sinyal diatas diambil sesuai dengan panjang pipa yang diuji. Untuk mendapatkan jarak (panjang pipa) waktu sepanjang pipa dikalikan dengan cepat rambat udara yaitu 340 m/s, lalu dengan mengalikan satuan didapatkan :  $\frac{\text{meter}}{\text{sekon}} \times \text{sekon} = \text{meter}$  didapat yaitu 0.00456 s  $\times 340 \text{ m/s} = 1.55 \text{ m}$ .

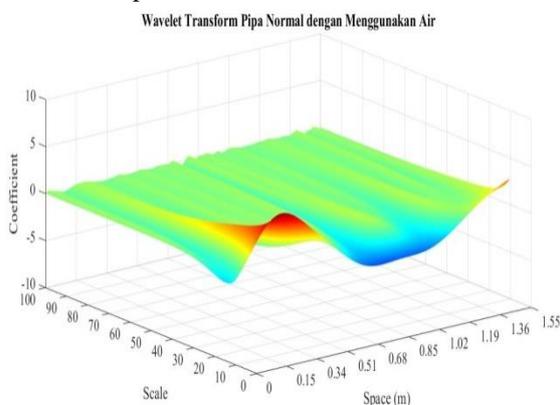


Gambar 6 Metode *Wavelet* Kondisi Normal Tanpa Air

Warna merah menandakan letak *microphone*. Posisi *microphone* terletak pada 0.17 dari *speaker*. Sumbu X-Y pada Gambar 7 dapat dilihat dengan jelas hasil pantulan sinyal suara yang direkam dan ditimbulkan akibat *microphone*. Hal ini ditandai dengan warna pekat terletak pada waktu 0.0005 s. Jika dikonversikan ke jarak (m) maka  $0.0005 \text{ s} \times 340 \text{ m/s} = 0.17 \text{ m}$ . Sama halnya dengan kondisi normal tanpa air, kondisi normal dengan menggunakan air didapatkan hasil metode *wavelet* seperti pada Gambar 8.

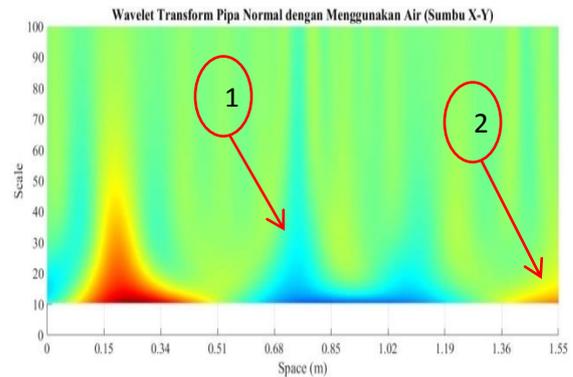


Gambar 7 Metode *Wavelet* Kondisi Normal Tanpa Air pada Sumbu X-Y



Gambar 8 Metode *Wavelet* Kondisi Normal dengan Menggunakan Air

Puncak yang ditunjuk pada warna merah diakibatkan oleh *microphone* dan mengalami penurunan puncak yang diakibatkan pada kondisi air lebih cepat meredam getaran impuls yang ditimbulkan. Setelah itu dianalisa pada sumbu X-Y. Gambar 9 menunjukkan sumbu X-Y dari kondisi normal dengan menggunakan air.

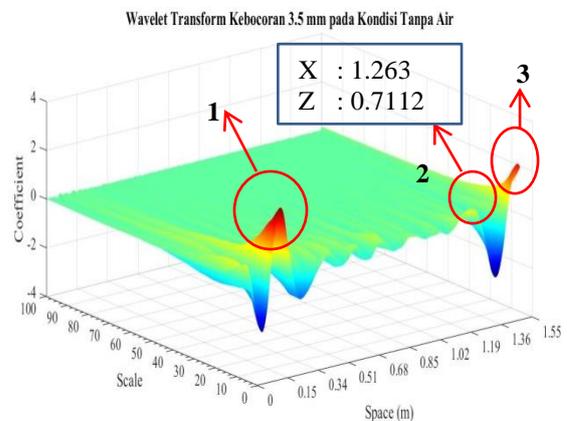


Gambar 9 Metode *Wavelet* Kondisi Normal dengan Menggunakan Air pada Sumbu X-Y

Letak *microphone* sama jaraknya dengan kondisi tanpa air yaitu dengan jarak 0.17 m dari *speaker*. Bagian yang ditunjuk oleh panah nomor satu yaitu pada warna biru merupakan efek dari *wavelet* itu sendiri dengan pengertian bahwa *wavelet* ini merupakan bentuk gelombang yang berdurasi terbatas secara efektif yang mempunyai nilai rata-rata nol dan hal inilah yang disebut efek balik *wavelet*. Panah nomor dua menunjukkan suatu frekuensi yang muncul diakibatkan dari pantulan tutup pipa (*close end*).

### 3.2 Pengujian Pipa dalam Kondisi Kebocoran dengan Menggunakan Air dan Tanpa Air

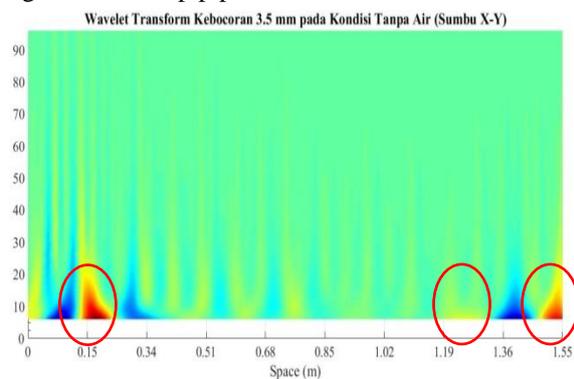
Hasil analisa *wavelet transform* kebocoran dengan lubang 3.5 mm pada kondisi tanpa air dapat dilihat pada Gambar 10. Dari grafik sinyal suara tersebut dapat dilihat ada beberapa karakteristik puncak yang muncul yang ditunjukkan pada penomoran.



Gambar 10 Metode *Wavelet* Kondisi Kebocoran 3.5 mm Tanpa Menggunakan Air

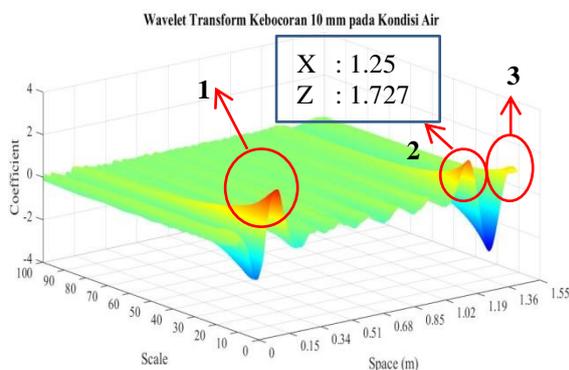
Puncak yang ditunjukkan pada nomor satu mengindikasikan adanya *microphone* yang terletak didalam pipa. Nomor dua menunjukkan kerusakan buatan berupa kebocoran dengan ukuran 3.5 mm. Pada kebocoran 3.5 mm terjadi pada 0.003717 s dan tinggi puncak 0.711.

Pada Gambar 11 menunjukkan pada sumbu X-Y yaitu jarak kebocoran yang terjadi yaitu  $\frac{\text{meter}}{\text{sekon}} \times \text{sekon} = \text{meter}$  didapat yaitu  $0.003717 \text{ s} \times 340 \text{ m/s} = 1.26 \text{ m}$ . Posisi awal yang ditetapkan adalah pada posisi 1.30 m. Perbandingan hasil pengujian dengan posisi sesungguhnya berbeda 4 cm. *Estimation errors* didapatkan sebagai berikut  $EE = \left(\frac{1.30 \text{ m} - 1.26 \text{ m}}{1.30 \text{ m}}\right) \times 100\% = 3.07\%$ . Nomor tiga merupakan puncak yang direkam akibat dari bagian akhir tutup pipa.



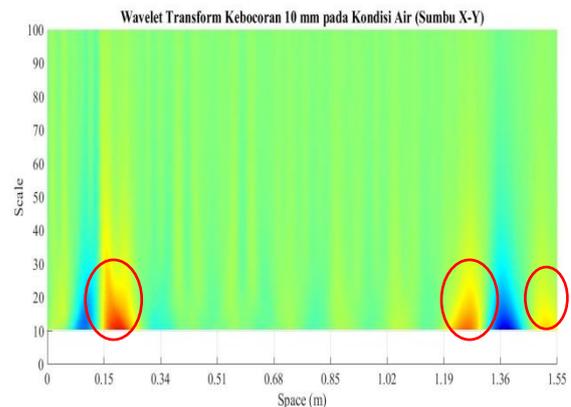
Gambar 11 Metode *Wavelet* Kondisi Kebocoran 3.5 mm Tanpa Menggunakan Air pada Sumbu X-Y

Hasil analisa *wavelet transform* kebocoran dengan lubang 10 mm pada kondisi menggunakan air dapat dilihat pada Gambar 12. Dari grafik sinyal suara tersebut dapat dilihat ada beberapa karakteristik puncak yang muncul yang ditunjukkan pada penomoran. Puncak yang ditunjukkan pada nomor satu mengindikasikan adanya *microphone* yang terletak didalam pipa. Nomor dua menunjukkan kerusakan buatan berupa kebocoran dengan ukuran 10 mm. Pada kebocoran 10mm terjadi pada 0.003677 s dan tinggi puncak 1.727.



Gambar 12 Metode *Wavelet* Kondisi Kebocoran 10 mm Menggunakan Air

Pada Gambar 13 menunjukkan pada sumbu X-Y yaitu jarak kebocoran yang terjadi yaitu  $\frac{\text{meter}}{\text{sekon}} \times \text{sekon} = \text{meter}$  didapat yaitu  $0.003677 \text{ s} \times 340 \text{ m/s} = 1.25 \text{ m}$ . Posisi awal yang ditetapkan adalah pada posisi 1.30 m. Perbandingan hasil pengujian dengan posisi sesungguhnya berbeda 5 cm. *Estimation errors* didapatkan sebagai berikut  $\left(\frac{1.30 \text{ m} - 1.25 \text{ m}}{1.30 \text{ m}}\right) \times 100\% = 3.84\%$ . Nomor tiga merupakan puncak yang direkam akibat dari bagian akhir tutup pipa.



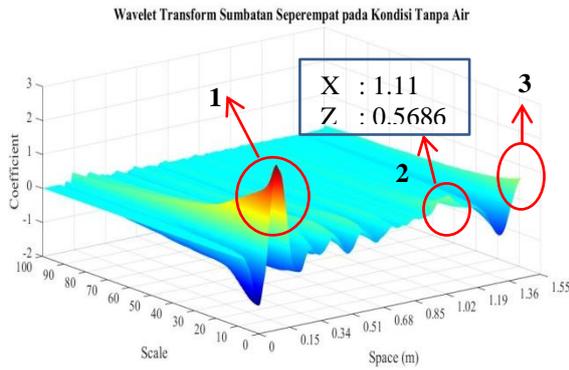
Gambar 13 Metode *Wavelet* Kondisi Kebocoran 10 mm Menggunakan Air pada Sumbu X-Y

Dari pengujian kebocoran 3.5 mm pada kondisi tanpa air dan kebocoran 10 mm pada kondisi menggunakan air didapatkan peningkatan amplitudo pada sumbu Z. Kebocoran 3.5 mm dengan nilai 0.7112 dan kebocoran 10 mm dengan nilai 1.727. Jadi semakin besar kebocoran yang diberikan maka nilai amplitudo semakin besar pula.

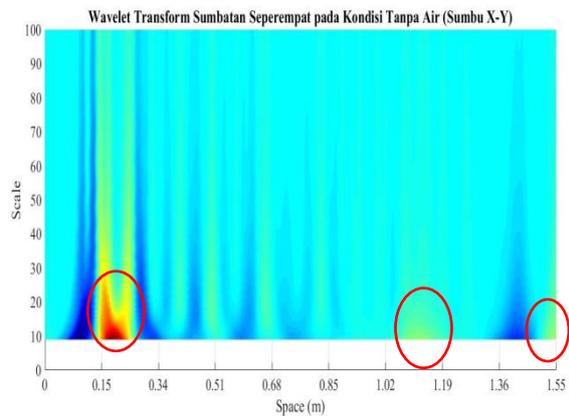
### 3.3 Pengujian Pipa dalam Kondisi Sumbatan dengan Menggunakan Air dan Tanpa Air

Hasil analisa *wavelet transform* sumbatan seperempat dalam kondisi tanpa air dapat dilihat pada Gambar 14. Grafik sinyal suara tersebut dapat dilihat ada beberapa karakteristik puncak yang muncul yang ditunjukkan pada penomoran. Puncak yang ditunjukkan pada nomor satu mengindikasikan adanya *microphone* yang terletak didalam pipa. Nomor dua menunjukkan kerusakan buatan berupa sumbatan seperempat. Sumbatan seperempat ini terjadi pada 0.003289 s dan dengan tinggi puncak 0.5686.

Pada Gambar 15 dapat dilihat pada sumbu X-Y yaitu jarak sumbatan yang terjadi yaitu  $\frac{\text{meter}}{\text{sekon}} \times \text{sekon} = \text{meter}$  didapat yaitu  $0.003289 \text{ s} \times 340 \text{ m/s} = 1.11 \text{ m}$ . Posisi awal yang ditetapkan adalah pada posisi 1.10 m. Hasil yang didapat dan real berbeda 1 cm. *Estimate error* didapatkan sebagai berikut  $EE = \left|\left(\frac{1.1 \text{ m} - 1.11 \text{ m}}{1.1 \text{ m}}\right)\right| \times 100\% = 0.9\%$ . Nomor tiga merupakan puncak yang direkam akibat dari bagian akhir tutup pipa.

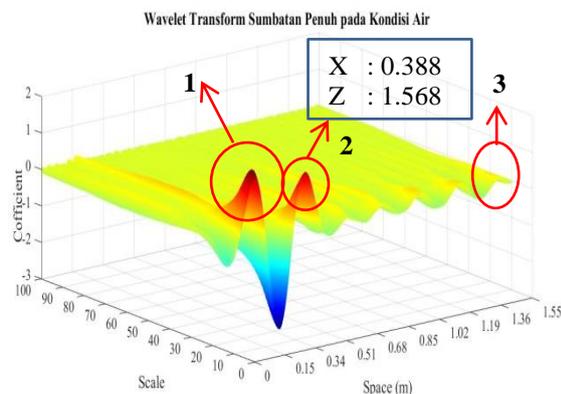


Gambar 14 Metode *Wavelet* Kondisi Sumbatan Seperempat Tanpa Menggunakan Air



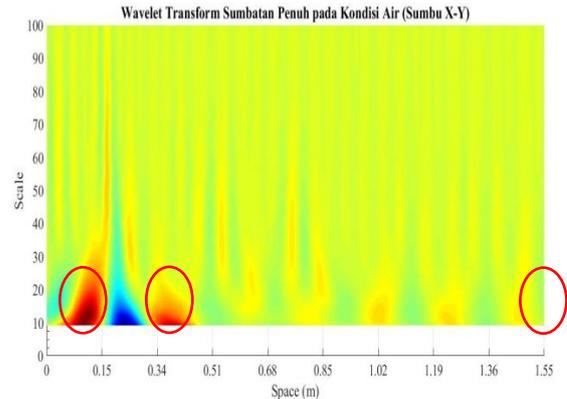
Gambar 15 Metode *Wavelet* Kondisi Sumbatan Seperempat Tanpa Menggunakan Air pada Sumbu X-Y

Hasil analisa *wavelet transform* sumbatan penuh dalam kondisi menggunakan air dapat dilihat pada Gambar 16. Grafik sinyal suara tersebut dapat dilihat beberapa karakteristik puncak yang muncul yang ditunjukkan pada penomoran. Puncak yang ditunjukkan pada nomor satu mengindikasikan adanya *microphone* yang terletak didalam pipa. Nomor dua menunjukkan kerusakan buatan berupa sumbatan penuh. Sumbatan ini terjadi pada 0.001142 s dan tinggi puncak 1.568.



Gambar 16 Metode *Wavelet* Kondisi Sumbatan Penuh dengan Menggunakan Air

Pada Gambar 17 menunjukkan pada sumbu X-Y yaitu jarak sumbatan yang terjadi yaitu  $\frac{\text{meter}}{\text{sekon}} \times \text{meter} = \text{meter}$  didapat yaitu  $0.001142 \text{ s} \times 340 \text{ m/s} = 0.38 \text{ m}$ . Posisi awal yang ditetapkan adalah pada posisi 0.4 m. *Estimation error* didapatkan sebagai berikut  $\text{Estimation error} = \left| \left( \frac{0.4\text{m} - 0.38 \text{ m}}{0.4\text{m}} \right) \right| \times 100\% = 5\%$ . Nomor tiga merupakan puncak yang direkam akibat dari bagian akhir tutup pipa.



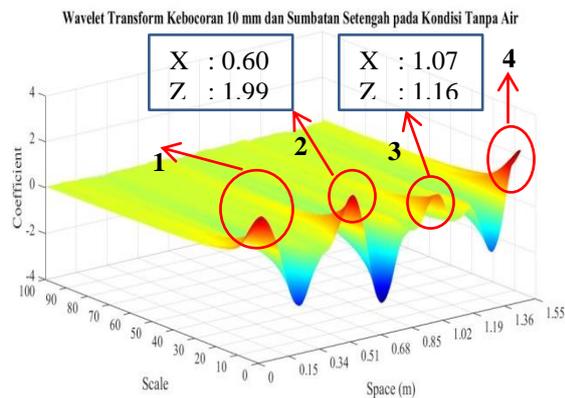
Gambar 17 Metode *Wavelet* Kondisi Sumbatan Penuh dengan Menggunakan Air pada Sumbu X-Y

Dari pengujian sumbatan seperempat pada kondisi tanpa air dan sumbatan penuh pada kondisi menggunakan air didapatkan tingkat amplitudo pada sumbu Z. Sumbatan seperempat dengan nilai 0.5686 dan sumbatan penuh dengan nilai 1.568. Jadi, dapat disimpulkan pula bahwa semakin besar sumbatan yang diberikan maka nilai amplitudo semakin besar pula.

### 3.4 Pengujian Pipa dalam Kondisi Kerusakan Gabungan Tanpa Menggunakan Air

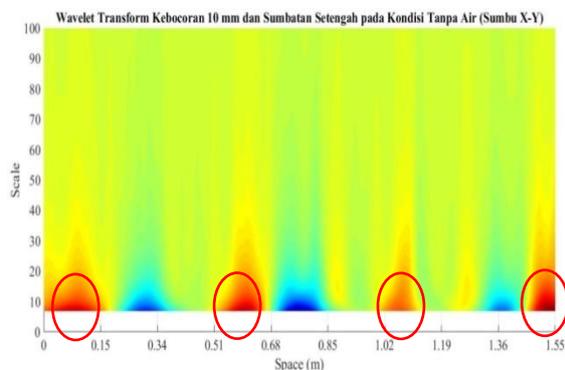
Kebocoran dengan lubang 10 mm diberikan pada posisi 0.6 m dan sumbatan setengah diberikan pada posisi 1.1 m. Hasil analisa *wavelet transform* pada kondisi kebocoran 10 mm dan sumbatan setengah dapat dilihat pada Gambar 18.

Dari grafik sinyal suara pada Gambar 18 tersebut dapat dilihat ada beberapa karakteristik puncak yang muncul yang ditunjukkan pada penomoran. Puncak yang ditunjukkan pada nomor satu mengindikasikan adanya *microphone* yang terletak didalam pipa. Nomor dua dan tiga menunjukkan kerusakan buatan berupa kebocoran 10 mm dan sumbatan setengah. Nomor empat menunjukkan akhir dari tutup pipa. Kebocoran 10 mm terjadi pada 0.001767 s dan sumbatan setengah terjadi pada 0.003154 s. Nilai amplitudo pada kondisi kebocoran yaitu 1.99 lebih besar daripada sumbatan setengah yaitu 1.16. Hal ini diakibatkan kerusakan kebocoran lebih mendekati *microphone* dan lebih menyerap energi sehingga nilai amplitudo kondisi sumbatan setengah rendah dan cepat teredam.



Gambar 18 Metode *Wavelet* Kondisi Kebocoran 10 mm dan Sumbatan Setengah Tanpa Menggunakan Air

Pada Gambar 19 menunjukkan pada sumbu X-Y yaitu jarak kebocoran yang terjadi yaitu  $\frac{\text{meter}}{\text{sekon}} \times \text{sekon} = \text{meter}$ . Kebocoran 10 mm didapat yaitu  $0.001767 \text{ s} \times 340 \text{ m/s} = 0.6 \text{ m}$  dan sumbatan setengah yaitu  $0.003154 \text{ s} \times 340 \text{ m/s} = 1.07 \text{ m}$ . Posisi awal yang ditetapkan adalah 0.60 untuk kebocoran 10 mm dan 1.1 m untuk sumbatan setengah. *Estimation error* didapatkan sebagai berikut  $EE \text{ Lubang } 10 \text{ mm} = \left| \left( \frac{0.6 \text{ m} - 0.6 \text{ m}}{0.6 \text{ m}} \right) \right| \times 100\% = 0\%$ .  $EE \text{ Sumbatan Seperempat} = \left| \left( \frac{1.1 \text{ m} - 1.07 \text{ m}}{1.1 \text{ m}} \right) \right| \times 100\% = 2.72\%$ .



Gambar 19 Metode *Wavelet* Kondisi Kebocoran 10 mm dan Sumbatan Setengah Tanpa Menggunakan Air pada Sumbu X-Y

Dari keseluruhan kasus diatas, jika gelombang akustik diberikan dari kiri ke pipa, maka sebagian akan dipantulkan pada antarmuka, memproduksi komponen akustik yang dipantulkan dan ditransmisikan. Untuk gelombang bidang lemah, gelombang merambat dengan kecepatan lokal suara, yang akan bervariasi tergantung pada kondisi lokal cairan. Gelombang reflektif akan terjadi bila ada perubahan dalam luas penampang pipa, sehingga hal ini memberi peluang untuk pendeteksian perubahan penampang dalam bentuk kebocoran dan sumbatan.

#### 4. Kesimpulan

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

1. Pengujian dengan menggunakan air dan tanpa air pada kondisi normal dapat dilihat karakteristiknya yaitu sinyal yang direkam dengan menggunakan air lebih cepat teredam daripada pengujian tanpa air.
2. Pengujian kebocoran pada kondisi menggunakan air yaitu pada bocor 10 mm dan tanpa menggunakan air 3.5 mm mengalami peningkatan amplitudo siiring dengan besarnya ukuran lubang. Dengan *estimation error* kebocoran 3.5 mm yaitu 3.07% dan *estimation error* kebocoran 10 mm yaitu 3.84%.
3. Pengujian sumbatan pada kondisi tanpa menggunakan air yaitu sumbatan seperempat dan menggunakan air yaitu sumbatan penuh mengalami peningkatan amplitudo seiiring dengan besarnya ukuran sumbatan yang diberikan. Dengan *estimation error* sumbatan seperempat yaitu 0.9% dan *estimation error* sumbatan penuh yaitu 5%.
4. Pengujian kerusakan gabungan diperoleh *estimation error* terbesar yaitu pada sumbatan seperempat dengan nilai 2.72% dan *estimation error* kebocoran 10 mm sebesar 0%.

#### Daftar Pustaka

- [1] Urbanek, T Barszcz, T Uhl, WJ Staszewski, SBM Beck, and B Schmidt. 2011. Leak detection in gas pipelines using wavelet-based filtering. *International Journal of Structural Health Monitoring*. Faculty of Mechanical Engineering and Robotics AGH, University of Science and Technology, Kraków, Poland.
- [2] 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.
- [3] Sutarno. 2010. Analisis Perbandingan Transformasi Wavelet pada Pengenalan Citra Wajah. *Jurnal Generic*, 5(2). ISSN 2087-9814.
- [4] Walker, James. S. 1999, 'A *Primer on Wavelets and Their Scientific Applications* 1stED, Chapman & Hall/CRC. USA.

- [5] Zhang, Bailing, Haiheng Z, and Shuzi S.G. 2004. *Face Recognition by Apllying Wavelet Subbond Representation and Kernel Associative Harmony*. 'IEEE Transaction of Neural Network, 15(1).
- [6] Foster, D.J., Mosher, C.C. dan Hassanzadeh, S., 1994, *Wavelet Transform Methods for Geophysical Applications*, 64th Annual International Meeting, Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstract, 1465 – 1468.
- [7] Anant, K.S. dan Dowla, F.U., 1997, *Wavelet Transform Methods for Phase Identification in Three-Component Seismograms*, Bulletin of Seismological Society of America, 87(6), 1598 – 1612.