

# DETEKSI KERUSAKAN PIPA DALAM BENTUK KEBOCORAN MENGGUNAKAN SINYAL SUARA DAN DUAL MIKROFON

Hariadi<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>teguh hariadi3@gmail.com, <sup>2</sup>feblil.huda@eng.unri.ac.id

## Abstract

*The piping system is an important feature in the industrial world because it has an effective and efficient transportation function used for shipping such as liquid and gas fluids. Prevention of damage either leakage or blockage is very important because it can reduce the number of losses both economic, natural environment, and even loss of life. The use of sound signals to detect and find leaks in pipes with experimental studies. This method can be used because it is very sensitive to discontinuities in the pipe that can detect damage at a relatively lower cost. This method uses sound impulses emitted through the loudspeaker as excitation and the response of the sound signal will be recorded using a dual microphone sensor. Sound signals are given for leakage under conditions of using water and without water of different sizes, positions and polar sides. The sound signal data will be processed using the Fast Fourier Transform and Wavelet Transform methods. The test results showed that the amount of damage given is directly proportional to the amplitude generated and the wavelet coefficient of each microphone sensor will increase as it approaches the polar side of the damage.*

**Keywords :** *Sound Signal, Leakage, Fast Fourier Transform, Wavelet Transform, Dual Microphone*

## 1. Pendahuluan

Sistem pemipaan digunakan sebagai media pendistribusian fluida yang paling penting terutama dalam bidang industri sekarang ini, seperti pada industri gas, perkilangan minyak dan industri air minum. Semakin berkembangnya industri tersebut, kebutuhan terhadap sistem pemipaan cenderung meningkat sebagai media transportasi pemindahan fluida. Sistem pemipaan menjadi media distribusi yang lebih efektif dan efisien dibanding dengan media distribusi lainnya. 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 pemipaan ini sama yaitu kerusakan pipa dalam bentuk kebocoran.

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.

*Nondestructive Evaluation (NDE)* adalah proses identifikasi kerusakan dengan cara tidak merusak. Teknik NDE salah satunya adalah teknik getaran dan teknik *acoustic emission (AE)*. Penelitian mengenai deteksi kerusakan dengan metode NDE pada struktur membran [1], dengan menggunakan laser sebagai eksitasi dan *Wavelet Transform 2D-CWT* untuk mendeteksi posisi rusaknya. Namun, metode tersebut membutuhkan biaya yang besar untuk *set-up* pengujiannya.

NDE dengan teknik emisi sinyal suara juga dilakukan pada penelitian deteksi kerusakan motor induksi menggunakan sinyal suara dan mikrofon sederhana [2]. Pengolahan data sinyal menggunakan

FTT dan *Wavelet Transform* mampu mendeteksi kondisi *unbalance*, rotor yang patah dan kesalahan pada bantalan motor.

Pendeteksian kebocoran dan sumbatan pada jaringan pipa telah dikembangkan dengan berbagai metode. Salah satu metode yang telah digunakan adalah metode beda tekanan [3]. Metode ini 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.

Penelitian deteksi kerusakan pipa yang menggunakan suara sebagai eksitasi dan mikrofon sebagai sensor penangkap sinyal suara [4,5,6]. Mikrofon dihubungkan ke PC menggunakan DAQ (*soundcard*) yang mengkonversi sinyal analog hasil rekaman suara menjadi sinyal digital berupa nilai domain waktu. Gelombang suara yang disuntikkan ke dalam pipa akan menjalar sepanjang pipa dengan kecepatan rambat udara sebesar 340 m/s. Apabila terjadi diskontinuitas dari permukaan dalam pipa tersebut, maka akan muncul nilai frekuensi berbeda sepanjang jaringan pipa yang menunjukkan terjadinya kerusakan dan posisi dari kerusakan dalam pipa tersebut. Kelemahan dari penelitian ini tidak dapat mendeteksi posisi sisi selubung permukaan pipa yang mana terjadi kerusakan berupa

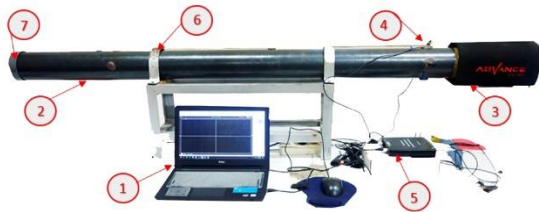
kebocoran, sumbatan dan korosi.

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 [7]. Pada sistem pemipaan menjadi suatu hal yang sangat penting pendeteksian dini untuk dikembangkan demi mencegah kegagalan yang terjadi terhadap pipa.

## 2. Metodologi

### 2.1 Set Up Pengujian

Pada penelitian ini akan dilakukan pendeteksian posisi kebocoran pada pipa dengan memberikan eksitasi suara menggunakan *loudspeaker* dan pengambilan sinyal suara responnya dengan menggunakan dual mikrofon. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan pipa tunggal yang dimensinya telah ditentukan. Pada tahap awal ini dilakukan pembuatan sistem eksitasi suara menggunakan *loudspeaker*. Eksitasi suara yang digunakan adalah suara *impuls* dari *loudspeaker* 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 [8]. *Set up* pengujian pipa dapat dilihat pada Gambar 1 dan keterangan gambar dapat dilihat pada Tabel 1.

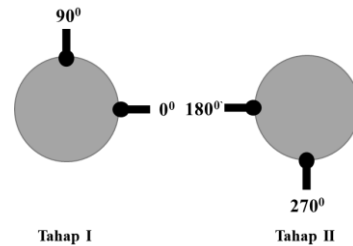


Gambar 1 *Set up* Pengujian

Tabel 1 Komponen dan Keterangan *Set up*

NO	Komponen	Keterangan	Spesifikasi
1.	Laptop	Digunakan untuk menjalankan dan mengolah sinyal <i>output</i> dan <i>input</i>	Merek : DELL Proesor : Intel Core i5 OS : Windows 10
2.	Pipa	Benda kerja yang akan diteliti	PVC Merek : Tulip Ukuran : 4 inchi
3.	Speaker	Mengubah besaran listrik menjadi suara	Merek : Advance
4.	Mikrofon	Mengubah besaran suara menjadi besaran listrik.	Mikrofon Merek : TOA CM-360 Tegangan DC : 1.5 V
5.	DAQ	Berperan sebagai ADC sekaligus DAC.	Merk : Hantek 1008C
6.	Clamp pipa	Digunakan agar pipa tidak bergeser	Dibuat sendiri
7.	Tutup pipa	Agar suara yang ditembakkan dapat dipantulkan	Merek : G Ukuran : 4 inchi

Penyusunan posisi mikrofon pada pipa dilihat dari penampang pipa yang berhadapan pada *loudspeaker* dengan setiap posisi mikrofon tegak lurus terhadap mikrofon setelahnya. Posisi polar mikrofon untuk pencuplikan tahap I diarah polar  $0^{\circ}$  dan  $90^{\circ}$ , untuk posisi polar mikrofon untuk pencuplikan tahap II diarah polar  $180^{\circ}$  dan  $270^{\circ}$ . Dalam setiap pencuplikan data akan digunakan dua tahap pencuplikan data. Di lihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Posisi Polar Mikrofon

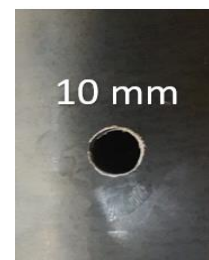
Dimana mikrofon 1 adalah mikrofon yang terletak pada sisi polar  $0^{\circ}$ , mikrofon 2 adalah mikrofon yang terletak pada sisi polar  $90^{\circ}$ , mikrofon 3 adalah mikrofon yang terletak pada sisi polar  $180^{\circ}$  dan mikrofon 4 adalah mikrofon yang terletak pada sisi polar  $270^{\circ}$ .

### 2.2 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 kerusakan dalam bentuk kebocoran.

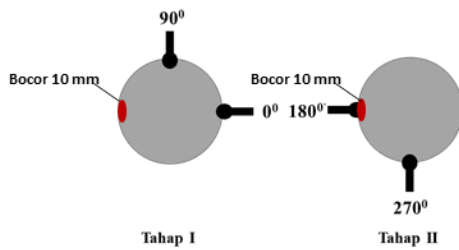
### 2.3 Pengujian Pipa pada Kondisi Kebocoran

Perlakuan pengujian pipa pada kondisi ini sama dengan pengujian kondisi normal, perbedaannya dengan memberikan kerusakan pada pipa berupa lubang dengan menggunakan *drill*. Ukuran lubang kebocoran ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Ukuran Lubang Kebocoran

Pada pengujian kebocoran diberikan pada kondisi pipa dengan jarak 0.7 meter dari *loudspeaker*. Posisi kebocoran diberikan pada sisi polar  $180^{\circ}$  pada permukaan dalam pipa. Sisi polar kerusakan ditunjukkan pada Gambar 4.



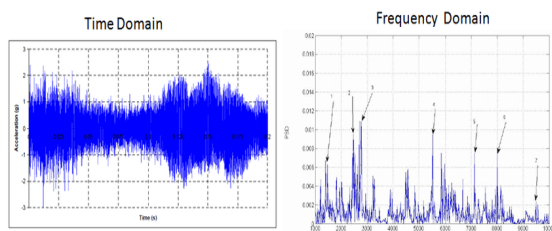
Gambar 4 Posisi Polar Kebocoran

## 2.4 Dasar Metode Deteksi Kebocoran dan Sumbatan

Kerusakan pipa 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 [9].

## 2.5 Transformasi Fourier

Dengan menggunakan analisis *fourier* dapat merepresentasikan waktu-amplitudo menjadi representasi frekuensi-amplitudo. Artinya sumbu x mewakili frekuensi dan sumbu y mewakili nilai amplitudonya. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.



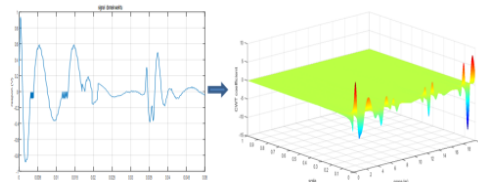
Gambar 5 Time Domain Signal menjadi frequency Domain Signal

Transformasi *Fourier* bersifat reversibel, yaitu suatu fungsi dapat ditransformasi ke dalam domain frekuensi dan diinversikan lagi ke domain waktu. Namun, kedua informasi tersebut tidak bisa didapatkan secara bersamaan. Representasi fungsi dalam domain frekuensi tidak memuat informasi waktu, demikian pula sebaliknya [10].

## 2.6 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 [11]. 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 amplitudo, translasi dan skala seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Analisis Wavelet

*Wavelet* merupakan keluarga fungsi yang dihasilkan oleh *Wavelet* basis  $y(x)$  disebut *mother Wavelet*. Dua operasi utama yang mendasari adalah: 1) Penggeseran, misalnya  $y(x-1)$ ,  $y(x-2)$ ,  $y(x-b)$  2) Penyekalaan, misalnya  $y(2x)$ ,  $y(4x)$  dan  $y(2jx)$ .

Transformasi *Wavelet* merupakan suatu proses perubahan 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* [12].

Analisis *Wavelet* merupakan sebuah teknik penjendelaan variabel (*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 [13].

Analisis *Wavelet* mampu menunjukkan informasi sinyal yang tidak dimiliki oleh analisis sinyal yang lain, seperti kecenderungan, titik yang putus dan kemiripan. *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

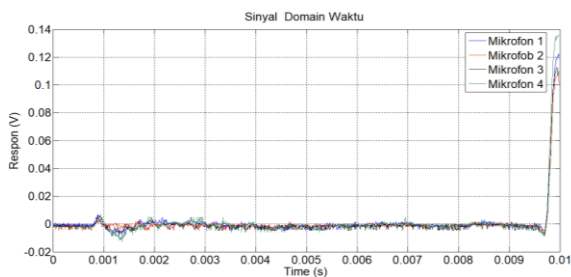
program *Fast Fourier Transform* dan *Wavelet Transform* dan dianalisis sesuai dengan kondisi pengujian yang dilakukan. Pipa yang digunakan adalah pipa tunggal yang telah ditentukan dimensi pipanya dengan ukuran 4 inch dan panjang 1.7 meter, sehingga untuk mengetahui pengambilan waktu sesuai dengan panjang pipa yaitu :

$$\text{Waktu pencuplikan data} = \frac{\text{Panjang pipa}}{\text{Cepat rambat udara}} = \frac{1.7 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} = 0.005 \text{ s}$$

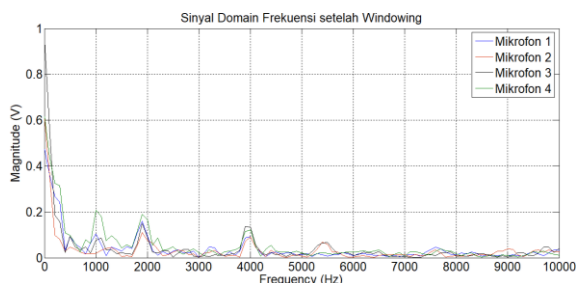
Semua pengujian yang memiliki waktu sepanjang pipa adalah  $0.005 \text{ s} \times 2 = 0.01 \text{ s}$  karena refleksi sinyal, waktu tersebut merupakan karakteristik sinyal yang muncul di sepanjang pipa yang digunakan pada penelitian. Pada grafik yang ditampilkan berikut merupakan panjang keseleruhan pipa tunggal yaitu sepanjang 1.7 meter yang terletak pada sumbu x.

### 3.1 Kondisi Normal

Sinyal suara pada Gambar 7 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. Sinyal hasil pencuplikan data sinyal suara diolah sehingga mendapatkan grafik sinyal domain waktu dan sinyal domain frekuensi yang telah dianalisa dengan menggunakan metode FFT. Sinyal domain waktu dikonversikan menjadi sinyal domain frekuensi ditunjukkan pada Gambar 8.



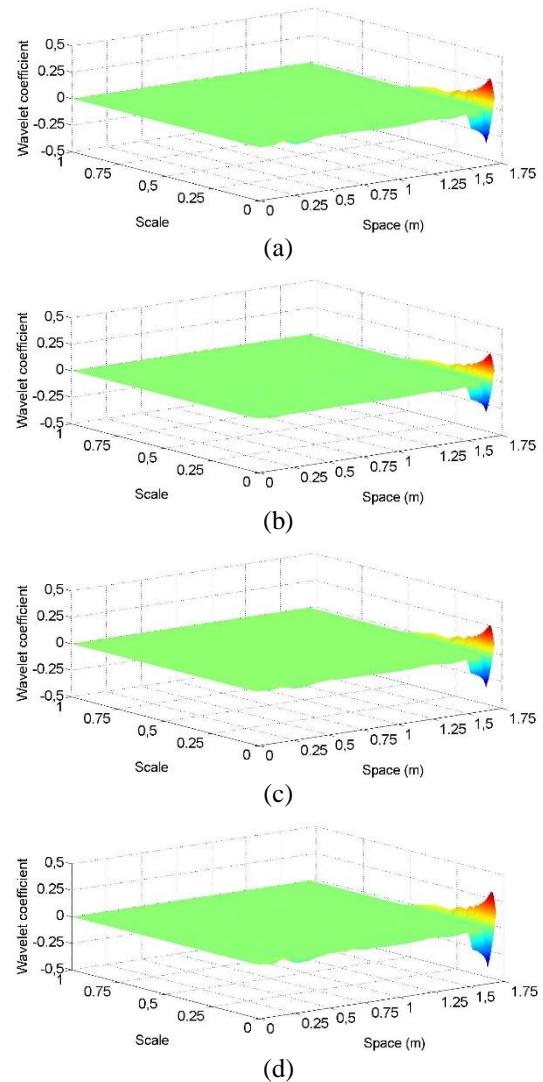
Gambar 7 Sinyal Domain Waktu



Gambar 8 Sinyal Domain Frekuensi

Grafik sinyal domain waktu dapat memberikan informasi berupa 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 dapat dilihat pada Gambar 9.

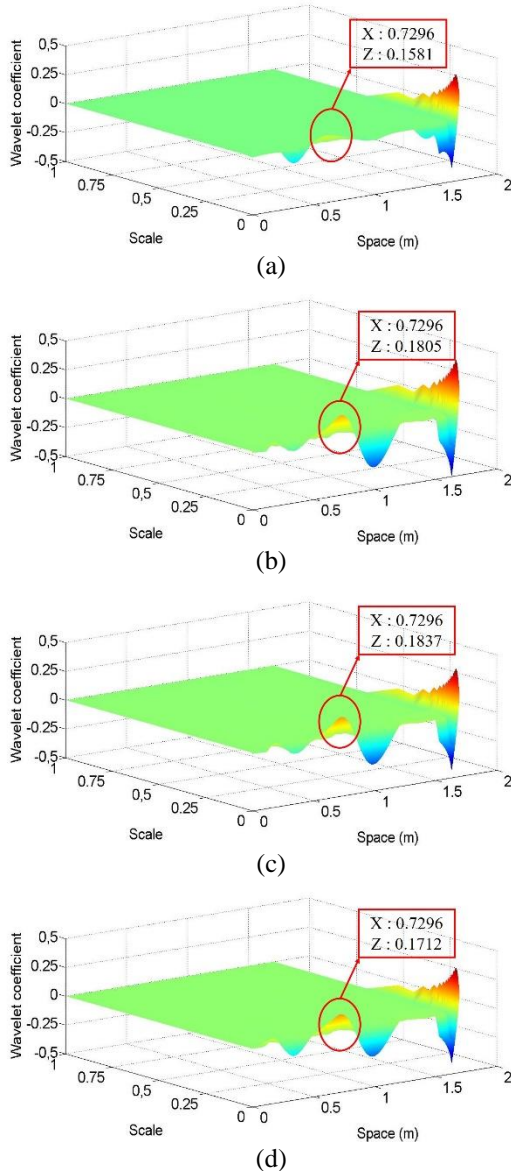


Gambar 9 *Wavelet Transform* Pipa Normal  
(a) Mikrofon 1, (b) Mikrofon 2,  
(c) Mikrofon 3, (d) Mikrofon 4

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. Tidak ada puncak yang muncul selain puncak diujung pipa yang merupakan tutup pipa (*close end*) karena pipa normal tanpa kerusakan.

### 3.2 Kondisi Kebocoran

Hasil analisa *Wavelet Transform* pada kondisi kebocoran dengan lubang 10 mm pada jarak 0.7 m dengan arah polar 180° dilihat pada Gambar 10. Dari grafik sinyal suara tersebut dapat dilihat ada beberapa karakteristik puncak yang muncul.



Gambar 10 *Wavelet Transform* Pipa Bocor 10 mm  
(a) Mikrofon 1, (b) Mikrofon 2,  
(c) Mikrofon 3, (d) Mikrofon 4

*Wavelet* diatas menunjukkan sumbu X-Z yaitu puncak pertama pada posisi kebocoran 0.7296 meter dengan puncak tertinggi 0.1837 pada arah 180° (mikrofon 3) sesuai Tabel 2.

Tabel 2 *Coefficient Wavelet* Bocor 10 mm

Tahap Pencuplikan	<i>Coefficient Wavelet</i>			
	0°	90°	180°	270°
Tahap I	0.1581	0.1805	-	-
Tahap II	-	-	0.1837	0.1712

Perbandingan hasil pengujian dengan posisi sesungguhnya selisih 0.0296 meter. *Estimation Errors* didapatkan sebagai berikut

$$EE \text{ Bocor } 10 \text{ mm} = \left| \frac{0.7 \text{ m} - 0.7296 \text{ m}}{0.7 \text{ m}} \right| \times 100\% = 2.76\%$$

### 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, Kerusakan yang diberikan berbanding lurus dengan besarnya nilai amplitudo (sumbu Z). Semakin besar suatu diameter lubang maka semakin besar pula nilai amplitudo yang dihasilkan.
2. Pengidentifikasi posisi dilakukan dengan metode *wavelet* yang menghubungkan dengan cepat rambat udara. Perubahan sinyal yang terjadi menunjukkan karakteristik masing-masing dari kerusakan yaitu sinyal karena kebocoran.
3. Nilai *coefficient wavelet* berbanding lurus dengan tingkat kerusakan permukaan dalam pipa, koefisien *wavelet* setiap sensor mikrofon akan meningkat saat mendekati sisi polar yang terjadi kerusakan.

### Daftar Pustaka

- [1] Huda, F., Kajiwaru, I. and Hosoya, N. (2014), "Vibration test and health monitoring of membrane structure using non-contact laser excitation", SPIE Smart Structures and Material + Nondestructive Evaluation and Health Monitoring, 9064-90640U.
- [2] Huda, F., Anggriawan, A. and Rusli, M. (2019), "The using of sound signal and simple microphone to detect damages in induction motor", IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 539-012034.
- [3] Santoso, B., Dkk. (2013), "Deteksi Kebocoran Pipa Pada Aliran Dua Fase Plug Menggunakan Analisis Fluktuasi Beda Tekanan", Jurnal Energi dan Manufaktur Vol.6, No.1.
- [4] Hamzir, T.M.Y, F. Huda, "Deteksi Kebocoran Dan Sumbatan Pipa Menggunakan Sinyal Suara" Jom FTEKNIK Universitas Riau, vol 5, no. 1, 2018.
- [5] A. Sujatmiko, F. Huda, "Deteksi Korosi Pipa Menggunakan Sinyal Suara" Jom FTEKNIK Universitas Riau, vol 5, edisi 1, 2018.
- [6] R. Satria T., F. Huda, "Deteksi Kebocoran Dan Sumbatan Pada Jaringan Pipa Menggunakan Sinyal Suara" Jom FTEKNIK Universitas Riau, vol 5, edisi 2, 2018.

- [7] M. Bur, M. Okuma, J. Malta, F. Huda, "Experimental Study of Vibration on Rotor System Due to Unbalance Mass and Misalignment", *Jurnal Poros*, Vol 8 No. 4, 2005, pp. 234-242.
- [8] Huda, F., Kajiwaru, I., Hosoya, N. And Kawamura, S. (2013), "Bolted joint loosening detection by using laser excitation", *SPIE Smart Structures and Material + Nondestructive Evaluation and Health Monitoring*, 869531-869531.
- [9] 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.
- [10] Vendira, N., Dkk. (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.
- [11] Kurniawan, I. (2012), *Diktat Pengolahan Sinyal-UTS*. Politeknik Jambi.
- [12] Silalahi, I., and Arlando, R.S. (2010), "Analisa *MultiWavelet* Untuk Kompresi Suara", *Electrical Engineering Journal* ISSN 1979-2867 vol. 1 no. 1.
- [13] Caraka, R.E. (2016), "(DWT) Wavelet Decomposition Object Treshold", Department of Statistics, Faculty of Science and Mathematics, Diponegoro University, Central Java, Indonesia.