

DETEKSI KERUSAKAN PIPA DALAM BENTUK SUMBAT DAN BOCOR MENGUNAKAN SINYAL SUARA DAN EMPAT MIKROFON

Willy Hartino Siregar^[1], Feblil Huda^[2], Nazaruddin^[3]

Laboratorium Konstruksi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

^[1]willy.hartinosiregar@student.unri.ac.id, ^[2]feblil.huda@eng.unri.ac.id, ^[3]nazaruddin@eng.unri.ac.id

Abstract

The system piping is a system that is used to distribute the fluid in the form of a substance of liquid or gas from one point to multiple points more to distance the relatively long. By because it's, various types of damage that can occur in the system piping becomes important to be studied and prevented. Prevention of damage, be it leaks or blockages, is very important because it can reduce the number of losses both to the economy, the natural environment, and even loss of life. In this study, a method was developed to detect damage to pipes using sound signals. The detection of damage to the plumbing done by using a signal sounds and four microphones. Methods of signal noise is a smart structural health monitoring that can detect damage at the cost of the more inexpensive. Excitation noise is given by using a loudspeaker and the response signal noise is sampled using four microphones that are connected to the PC- Oscilloscope which serves to convert the signal analog results of recording sound into a signal of digital form of the value of domains of time and then use a Continuous Wavelet Transform (CWT) to determine the location of the damage that occurs in the pipe sheath. To detect the location of pipe damage in various positions of damage, it can be searched by comparing the wavelet coefficient of the four microphones.

Keywords: *sound signal, leakage, blockage, Continuous Wavelet Transform, wavelet coefficient*

1. Pendahuluan

Sistem pemipaan merupakan fitur yang sangat penting dalam pendistribusian fluida terutama dalam berbagai bidang industri, seperti industri air minum, perminyakan maupun industri gas. Sistem pemipaan digunakan untuk transportasi fluida antar peralatan (*equipment*) dari suatu tempat ke tempat lain sehingga proses produksi dapat berlangsung. Jika dibandingkan dengan sistem transportasi lain seperti pemindahan fluida menggunakan kendaraan, sistem pemipaan memiliki tingkat integritas yang tinggi serta lebih efektif dan efisien.

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.

Pencegahan terhadap kerusakan baik itu kebocoran ataupun sumbatan sangat penting karena dapat menekan angka kerugian baik ekonomi, lingkungan alam, bahkan kehilangan nyawa. Pada penelitian ini disusun metode untuk mendeteksi kerusakan pada pipa menggunakan sinyal suara[1].

Suara merupakan getaran dari suatu benda. Selama bergetar, perbedaan tekanan terjadi di udara sekitarnya. Pola osilasi yang terjadi dinamakan sebagai gelombang. Gelombang mempunyai pola sama yang berulang pada interval tertentu yang disebut sebagai periode[2]. Gelombang suara memiliki lembah dan bukit, satu buah lembah dan

bukit akan menghasilkan satu siklus atau periode. Siklus ini berlangsung berulang-ulang yang membawa pada konsep frekuensi. Frekuensi merupakan jumlah getaran yang terjadi per satuan waktu. Frekuensi diukur dalam *Hertz* atau siklus per satuan waktu, dimana semakin cepat getaran gelombang suara, maka frekuensinya semakin tinggi.

Pendeteksian kerusakan pada pipa dengan menggunakan metode sinyal suara sudah ada dikembangkan sebelumnya. Salah satu penelitian yang sudah dilakukan yaitu deteksi kebocoran pada pipa gas menggunakan *Continuous Wavelet Transform* (CWT) dengan menggunakan nilai kurtosis, dimana nilai kurtosis dibandingkan pada saat pipa dalam kondisi normal dan kebocoran [3]. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini ialah nilai kurtosis untuk pipa yang mengalami kebocoran lebih besar dibandingkan dengan pipa normal.

Penelitian lain terkait deteksi kerusakan pipa menggunakan sinyal suara yaitu pendeteksian kebocoran dan sumbatan pada pipa tunggal menggunakan sinyal suara [4]. Kemudian penelitian dilanjutkan menggunakan jaringan pipa dengan menggunakan suara impuls sebagai sumber eksitasi dan mikrofon sebagai sensor untuk menerima respon sinyal suara. Gelombang suara yang dieksitasi dari salah satu ujung pipa akan merambat di sepanjang pipa dengan kecepatan 340 m/s [5]. Setiap diskontinuitas atau kerusakan pada permukaan dalam pipa akan memantulkan gelombang suara (*acoustic reflection*) dan selanjutnya direkam oleh mikrofon. Sinyal yang sudah direkam selanjutnya diolah menggunakan

Continuous Wavelet Transform untuk menunjukkan jarak dan tingkat kerusakan yang terjadi. Lokasi kerusakan ditentukan oleh puncak dominan dari *wavelet coefficient* yang dapat dilihat secara jelas dengan menerapkan perlakuan batas dan konsep permukaan *wavelet coefficient* [6].

2. Metodologi

2.1 Set up Pengujian

Pada penelitian ini, dilakukan pendeteksian posisi keretakan pada pipa dengan memberikan eksitasi suara dari *loudspeaker* dan pencuplikan sinyal responnya menggunakan empat mikrofon. Sebagian besar mikrofon yang digunakan dalam *Structural Health Monitoring* menghabiskan banyak anggaran, sehingga penggunaan mikrofon sederhana dengan biaya yang lebih kecil perlu diselidiki untuk menemukan solusi atas instrumen yang mahal [7]. Eksitasi suara yang digunakan adalah suara impuls. *Loudspeaker* yang digunakan sebagai sumber eksitasi terhubung ke laptop sehingga jenis eksitasi dapat diatur agar sama untuk semua kondisi pengujian. Pengukuran getaran dengan penggunaan eksitasi yang memiliki tingkat reproduksibilitas yang tinggi dan tingkat kerusakan kecil dapat diusulkan sebagai metode deteksi kerusakan dengan kualitas dan keandalan yang baik [8]. Laptop terhubung dengan sebuah *PC-Oscilloscope* yang berfungsi sebagai *data acquisition* dan penghubung antara mikrofon dengan laptop sehingga sinyal respon yang diterima oleh mikrofon dapat ditampilkan dan selanjutnya diolah. Mikrofon berfungsi sebagai sensor untuk menerima respon sinyal suara.

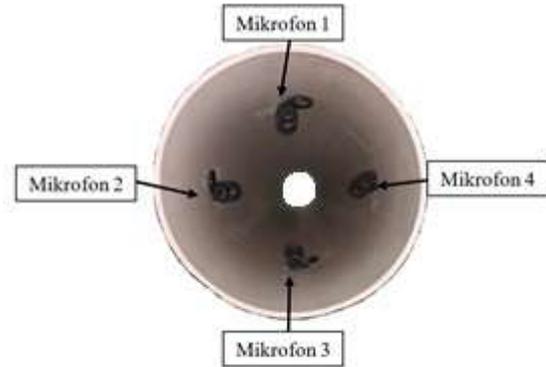
Pada penelitian ini, sinyal respon diperoleh dalam empat arah pada selubung dalam pipa. Untuk meletakkan mikrofon di dalam pipa maka dibuat empat buah lubang yaitu untuk mikrofon 1 sampai mikrofon 4 yaitu pada arah 90° , 180° , 270° dan 0° . Untuk mengetahui arah kerusakan pada selubung pipa.. Dalam melakukan pengujian ini penting untuk diambil beberapa data dan kemudian dirata-ratakan karena dalam kondisi yang sama dapat menghasilkan perbedaan kecil sehingga dibutuhkan beberapa data [9]. *Set up* pengujian dan komponen-komponen pengujian ditampilkan pada Gambar 1 berikut.



- | | |
|----------------|--------------------|
| 1. Laptop | 4. Mikrofon |
| 2. Pipa PVC | 5. PC-Oscilloscope |
| 3. Loudspeaker | 6. Tutup pipa |

Gambar 1. *Set up* Pengujian

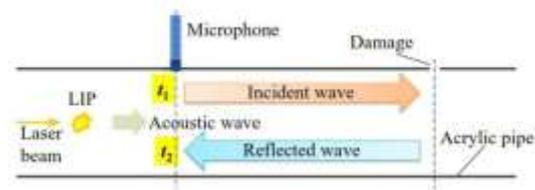
Susunan mikrofon di dalam pipa dilihat dari penampang pipa yang berhadapan dengan *loudspeaker* dengan posisi setiap mikrofon tegak lurus terhadap mikrofon selanjutnya. Pada Gambar 2. menunjukkan posisi mikrofon yang terletak didalam pipa dengan jarak 0.12 m dari *loudspeaker* dan juga posisi serta urutan dari mikrofon.



Gambar 2. Posisi empat mikrofon

2.2 Dasar Metode Deteksi Kerusakan pada Pipa

Waktu saat gelombang akustik pertama kali diterima oleh mikrofon adalah t_1 . Selanjutnya gelombang disebarkan dalam bentuk aslinya hingga mencapai kerusakan. Setelah itu gelombang terbagi menjadi gelombang pantulan yang disebabkan oleh kerusakan dan dilanjutkan kembali. Gelombang pantulan kembali diterima oleh mikrofon pada t_2 . Dengan demikian jarak dari mikrofon dengan kerusakan dapat dihitung dengan mengalikan selisih waktu terhadap cepat rambat suara seperti yang disajikan pada Gambar 3. Namun efek pantulan gelombang suara yang disebabkan oleh kerusakan akan lebih kecil dibandingkan gelombang akustik yang pertama kali dihasilkan dari pantulan gelombang suara pada ujung pipa [10].

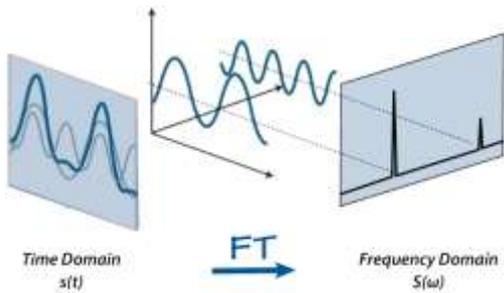


Gambar 3. Skema Pemantulan Gelombang pada Posisi Kerusakan

2.3 Transformasi Fourier

Analisis *Fourier* dapat merepresentasikan sinyal dalam domain waktu (*time vs amplitude*) menjadi sinyal dalam domain frekuensi (*frequency vs amplitude*). Artinya sumbu x mewakili frekuensi dan sumbu y mewakili nilai amplitudonya. *Fast Fourier Transform* 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)[11]. seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.

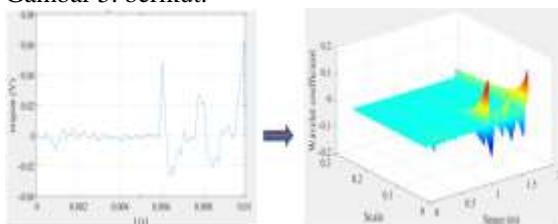


Gambar 4 Time Domain Signal menjadi frequency Domain Signal

Transformasi *Fourier* terdiri atas dua buah jenis yaitu, *Discrete Fourier Transform* (DFT) dan *Fast Fourier Transform* (FFT). Prinsip dari DFT adalah mentransformasikan sinyal awal berupa analog menjadi diskrit dalam bentuk domain waktu yang kemudian diubah ke dalam bentuk domain frekuensi, sedangkan prinsip dari FFT adalah membagi sinyal hasil pencuplikan menjadi beberapa bagian yang kemudian tiap bagian diselesaikan dengan algoritma yang sama, dan hasilnya akan dikumpulkan kembali [12].

2.5 Transformasi *Fourier*

Wavelet Transform merupakan perbaikan dari FFT. FFT hanya dapat menangkap informasi apakah suatu sinyal memiliki frekuensi tertentu atau tidak, tapi tidak dapat menangkap dimana frekuensi itu terjadi[13]. 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 *Wavelet Transform* memberikan informasi tentang kombinasi skala dan frekuensi. *Wavelet Transform* akan mempunyai tiga koordinat yakni amplitudo, translasi dan skala seperti pada Gambar 5. berikut.



Gambar 5. Analisis *Wavelet*

Ada berbagai jenis *Wavelet Transform*, pada penelitian kali ini penulis menggunakan jenis *Wavelet* yaitu *Continuous Wavelet Transform* (CWT). 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* [14].

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 Kerusakan

Pada kondisi ini kerusakan digabung menjadi empat kerusakan, dua buah sumbat dijarak yang berbeda dan 2 buah bocor di jarak yang sama dan arah yang berbeda, yaitu sumbat jarak 1m dan 1,4m dan Bocor jarak 0,7m arah 90° dan 0,7m arah 180°.

3. Hasil dan Pembahasan

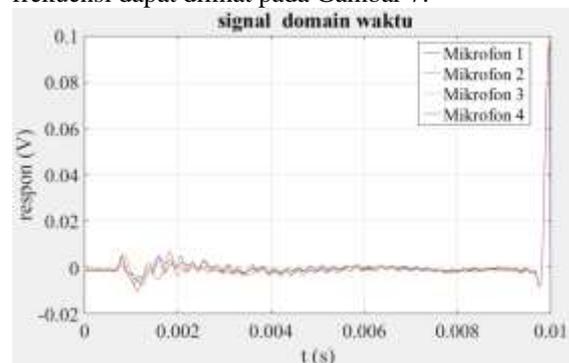
Data yang diolah menggunakan matlab menggunakan program *fast Fourier transform* dan *Wavelet Transform* dan dianalisis sesuai dengan kondisi pengujian yang dilakukan. Pipa yang digunakan adalah pipa PVC yang telah ditentukan bentuk jaringan pipanya dengan ukuran 4 inch dengan panjang 1,7 meter, sehingga untuk mengetahui pengambilan waktu sesuai dengan panjang pipa yaitu:

$$\text{Waktu pencuplikan} = \frac{\text{panjang pipa}}{\text{cepat rambat suara}} \times 2 = \frac{1,7 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} \times 2 = 0,01 \text{ s}$$

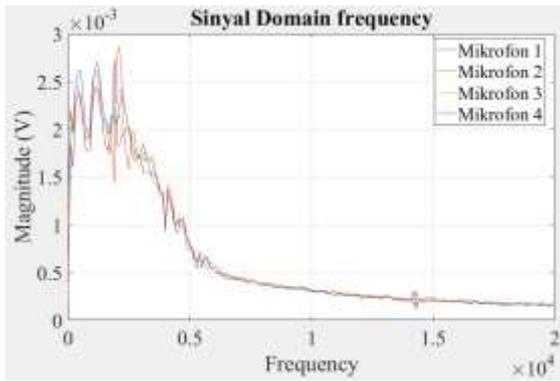
Semua pengujian dilakukan dengan menggunakan waktu pencuplikan selama 0,01 detik. Waktu tersebut merupakan karakteristik sinyal yang muncul di sepanjang pipa yang digunakan pada penelitian.

3.1 Kondisi Normal

Pada kondisi pipa ini didapatkan hasil pencuplikan grafik sinyal suara dalam selang waktu dan selang frekuensi. Grafik sinyal selang waktu dapat dilihat pada Gambar 6. Gambar 6. 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). Grafik sinyal domain frekuensi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Sinyal Domain Waktu Pipa Normal

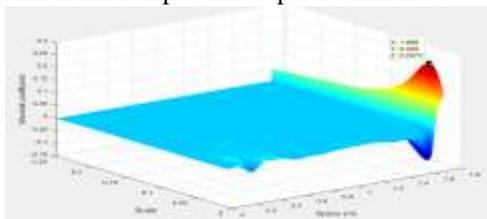


Gambar 7. Sinyal Domain Frekuensi Pipa Normal

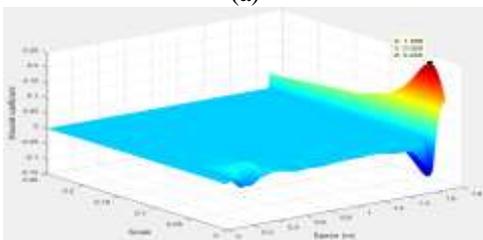
Grafik domain waktu menunjukkan terjadinya diskontinuitas pada selubung pipa, sedangkan grafik domain frekuensi menunjukkan berapa banyak sinyal terletak dalam setiap nilai frekuensi yang diberikan pada rentang frekuensi.

Grafik sinyal diatas merupakan sinyal normal dengan waktu pengambilan 0.01 detik dan diolah sehingga mendapatkan grafik sinyal domain waktu dan sinyal domain frekuensi yang telah dianalisis dengan menggunakan metode FFT.

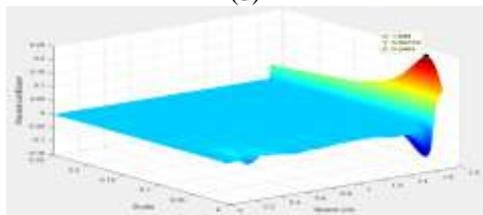
Metode FFT saja tidak cukup untuk melihat bentuk dan lokasi karakteristik sinyal sehingga dibutuhkan metode *wavelet Transform* yang terdapat dalam *software* MATLAB pengolah numerik. Grafik sinyal selang waktu dapat memberikan informasi jarak (*Space*) dengan cara mengalikan dengan cepat rambat udara. Pada metode *Wavelet Transform* ini didapatkan grafik tiga sumbu yaitu X (*space* (m)), Y (*Scale*), dan Z (*CWT coefficient*). Hasil metode *Wavelet* pada kondisi normal dapat dilihat pada Gambar 8.



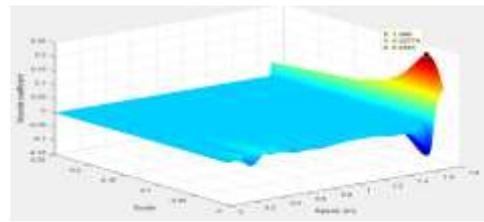
(a)



(b)



(c)



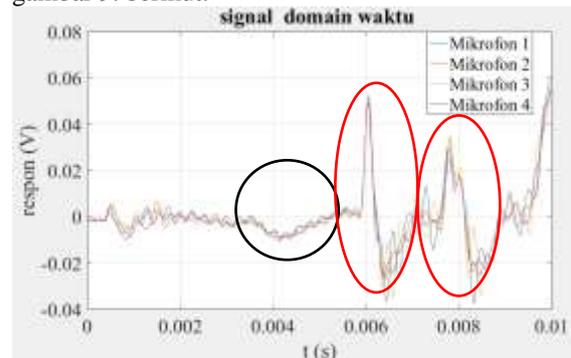
(d)

Gambar 8. Wavelet Transform Pipa Normal (a) Mikrofon 1, (b) Mikrofon 2, (c) Mikrofon 3 dan (d) Mikrofon 4

Metode *Wavelet* ini dapat memberikan informasi jarak, skala dan *coefficient* secara bersamaan. Gambar 4.3 diambil sesuai dengan panjang pipa yang diuji. Pada sumbu X-Y dapat dilihat dengan jelas hasil pantulan sinyal suara pada bagian ujung pipa (*close end*) yang direkam oleh empat mikrofon dengan jarak 1,688 m dimana jarak sebenarnya adalah 1,7 m. Dengan selisih 0,012 m dengan *Estimation Error* sebesar 0,705%.

3.2 Kondisi Kerusakan

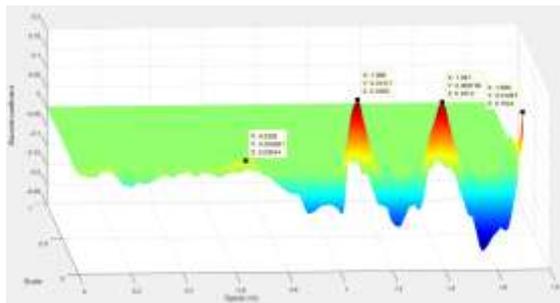
Untuk kondisi ini diberikan kerusakan sumbat jarak 1m dan 1,4m dan Bocor jarak 0,7m arah 90° dan 0,7m arah 180°. Sinyal domain waktu seperti gambar 9. berikut.



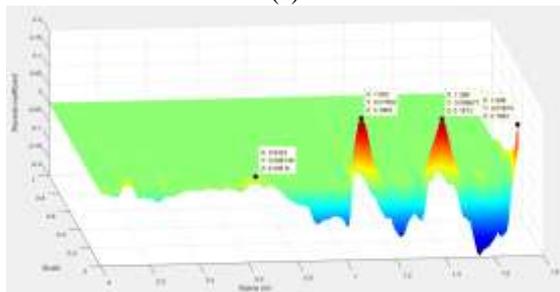
Gambar 9. Sinyal Domain Waktu Pipa Kondisi Kerusakan

Gambar 9. dapat terlihat jelas perbedaan antara kerusakan bocor seperti pada lingkaran hitam dan juga kerusakan sumbat yang ditunjuk dengan lingkaran merah. Pada kerusakan bocor respon dari sinyal yang ditangkap akan berkurang karena adanya lubang pada selubung pipa, dan semakin banyak bocor yang terjadi pada pipa dalam satu jarak yang sama maka respon dari sinyal akan semakin besar. Seperti pada Gambar 9, terdapat sinyal yang besar menandakan bahwa kerusakannya lebih dari satu. Sedangkan pada sumbat dapat dilihat respon dari sinyal yang ditangkap menjadi besar dikarenakan sinyal tersebut langsung dipantulkan oleh sumbat tersebut ke mikrofon tanpa sampai ditutup dari pipa.

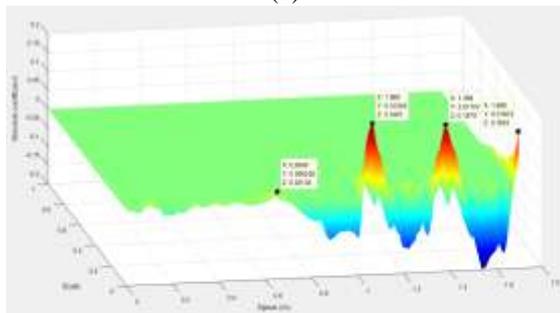
Nilai *wavelet coefficient* dapat dilihat pada gambar 10. dan nilai dari *wavelet coefficient* dapat dilihat pada tabel 1.



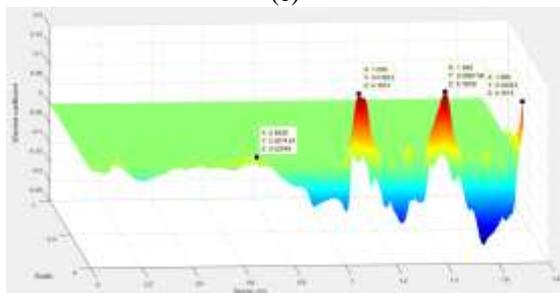
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 10. *Wavelet Transform* Pipa Kondisi kerusakan (a) Mikrofon 1, (b) Mikrofon 2, (c) Mikrofon 3 dan (d) Mikrofon 4

Tabel 1. Jarak dan *wavelet coefficient* Pipa Kondisi Kerusakan (a) Mikrofon 1, (b) Mikrofon 2, (c) Mikrofon 3 dan (d) Mikrofon 4

	Bocor 0,7m		Sumbat 1m		Sumbat 1,4m	
	Space (m)	<i>Wavelet coefficient</i>	Space (m)	<i>Wavelet coefficient</i>	Space (m)	<i>Wavelet coefficient</i>
Mikrofon 1 (arah 90°)	0,6392	0,03634	1,068	0,1885	1,391	0,1812
Mikrofon 2 (arah 180°)	0,6324	0,03514	1,063	0,1868	1,389	0,1813
Mikrofon 3 (arah 270°)	0,6545	0,03103	1,068	0,1997	1,384	0,1879
Mikrofon 4 (arah 0°)	0,6528	0,02949	1,056	0,1874	1,392	0,1808

Dari *wavelet transform* pada gambar 10. dan *wavelet coefficient* tabel 1. dapat diketahui bahwa sumbat berada pada mikrofon 3 dikarenakan

wavelet coefficient terbesar berada pada mikrofon 3 sebesar 0,1997 untuk jarak 1 m dan 0,1879 untuk jarak 1,4 m. Bocor pada jarak 0,7 m memiliki dua buah sinyal yang tinggi yaitu pada mikrofon 1 sebesar 0,03634 dan mikrofon 2 sebesar 0,03514. Dikarenakan pada domain waktu diketahui bocor yang terjadi lebih dari satu maka letak kerusakan bocor berada di mikrofon 1 dan mikrofon 2.

4 Simpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan pengolahan data yang telah dilakukan, maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Refleksi akustik terjadi sebagai akibat dari adanya kerusakan dalam bentuk bocor dan sumbat pada pipa. Kerusakan yang diberikan berbanding lurus dengan besarnya nilai *wavelet coefficient*.
2. Pengidentifikasian posisi dilakukan dengan metode *Wavelet Transform* yang menghubungkan dengan cepat rambat udara. Tingkat kerusakan dalam bentuk bocor dan sumbat yang diberikan memiliki karakteristik masing-masing dan letak kerusakan berbanding lurus terhadap *wavelet coefficient*.
3. Pendeteksian letak kerusakan pipa di berbagai posisi kerusakan dapat dicari dengan membandingkan *wavelet coefficient* dari keempat mikrofon dan mendeteksi kerusakan lebih dari satu dengan cara memperhatikan sinyal domain waktu dari kerusakan yang terjadi pada selubung pipa.

5. Daftar Pustaka

- [1] Hariadi., F. Huda, "Deteksi Kerusakan Pipa Dalam Bentuk Kebocoran Menggunakan Sinyal Suara Dan Dual Mikrofon" Jom FTEKNIK Universitas Riau, vol 7, no. 1, 2020.
- [2]. Hanggarsari Prativi Nugraheni, Helmy Fitriawan, Yetti Yuniati. 2012. "Simulasi Sistem Pengacakan Sinyal Suara Secara Realtime Berbasis *Fast Fourier Transform* (FFT)." Electrical Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, Vol. 6 No. 3.
- [3]. Adnan. F, Fairusham G. M, 2014, "*Leak Detection in Gas Pipeline by Acoustic and Signal Processing*" IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 100
- [4]. Panjaitan, S., F. Huda, "Deteksi Keretakan Pada Pipa Menggunakan Sinyal Suara Dan Dual Mikrofon" Jom FTEKNIK Universitas Riau, vol 7, no. 1, 2020.
- [5]. Satria, R. T., F. Huda, "Deteksi Kebocoran dan Sumbatan pada Jaringan Pipa Menggunakan Sinyal Suara", *Jom FTEKNIK Universitas Riau*, Vol. 5, No. 2, 2018.
- [6]. F. Huda, I. Kajiwaru, N. Hosoya. (2014), "Damage Detection in Membrane Structures Using Non-contact Laser Excitation and

- Wavelet Transformation”. *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 333: 3609-3624.
- [7]. Huda, F., A. Anggriawan, M. Rusli. (2019), “The Using of Sound Signal and Simple Microphone to Detect Damages in Induction Motor”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 539(1): 012034.
- [8]. F. Huda, I. Kajiwara, N. Hosoya. (2014), “Vibration Test and Health Monitoring of Membrane Structure Using Non-contact Laser Excitation”, *Health Monitoring of Structural and Biological Systems* 9064(0): 90640U.
- [9]. F. Huda, I. Kajiwara, N. Hosoya, S. Kawamura. (2013), “Bolted Joint Loosening Detection by Using Laser Excitation.” *Health Monitoring of Structural*.
- [10]. Kajiwara, I., R. Akita, N. Hosoya. (2017), “Damage Detection in Pipes Based on Acoustic Excitations Using Laser-Induced Plasma.” *Mechanical Systems and Signal Processing* 111(0): 570-579.
- [11]. Riyanto Sugeng, Agus Purwanto, Supardi. 2009. “*Algoritma Fast Fourier Transform (FFT) Decimation in Time (Dit) Dengan Resolusi 1/10 Hert*”. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA Fakultas MIPA, UNY.
- [12]. Vendira N. 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.
- [13]. Kurniawan, Iwan. 2012. Diktat Pengolahan Sinyal-UTS. Politeknik Jambi.
- [14]. Silalahi, Imanuel, dkk. 2010. “Analisa Multi *Wavelet* Untuk Kompresi Suara.” *Electrical Engineering Journal* ISSN 1979-2867 Vol. 1 No. 1.