

DETEKSI KERETAKAN PADA PIPA MENGGUNAKAN SINYAL SUARA DAN DUAL MIKROFON

Suhardi Panjaitan¹, Feblil Huda²

Laboratorium Konstruksi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
¹panjaitansuhardi@gmail.com, ²feblil.huda@eng.unri.ac.id

Abstract

Piping system is used for fluid distribution in various fields of industry. When compared to other transportation systems such as vehicles, piping systems have a higher level of integration and are more effective. The need for pipeline is increasing in the industrial sector. Therefore, various types of damage that can occur in the pipeline system are important to be assessed and prevented. Detection of pipe damage is very important to prevent various losses and work accidents. Pipe damage in the form of crack is a problem that often occurs in pipe systems. In this study, the detection of damage to the pipe is done using sound signals and dual microphones. The sound signal method is an intelligent structural health monitoring that can prevent damage at a lower cost. Sound excitation was generated by loudspeaker and the response of the sound signal is sampled using dual microphones. Sound signal data from dual microphones is processed using wavelet transforms. From the experimental results it was found that the greatest wavelet coefficient of the microphone position is estimated to be the polar position of the damage.

Keywords: Sound signal, dual microphones, crack, wavelet transform

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.

Keretakan merupakan salah satu masalah yang serius dan sering terjadi pada suatu sistem pemipaan. Keretakan pada pipa dapat menyebabkan kebocoran yang mengganggu proses produksi dan juga dapat menimbulkan efek bahaya apabila fluida yang dialirkan berupa fluida beracun. Oleh karena itu, perlu dilakukan deteksi dini dan lokalisasi keretakan pada sebuah sistem pemipaan untuk meminimalisir kerugian dan untuk mencegah kecelakaan kerja.

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 [1]. 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 [2]. 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. 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 [3].

Berdasarkan hal tersebut maka akan dikembangkan metode penggunaan eksitasi suara dan sinyal suara dalam pendeteksian keretakan pada pipa dengan menggunakan dual mikrofon. Gelombang emisi akustik tidak dapat mengindikasikan ukuran dari kerusakan dan pertumbuhan kerusakan. Oleh karena itu sensor struktur diletakkan secara tetap, daerah kerusakan dapat dinyatakan jika beberapa sensor diletakkan secara tersusun [4]. Salah satu cara dalam melakukan perawatan adalah dengan melakukan sistem perawatan prediktif yang salah satunya adalah dengan melakukan pendeteksian kerusakan sebelum sistem rusak secara keseluruhan [5]. Metode ini dikembangkan untuk mendeteksi dan menentukan posisi kerusakan pada arah selubung permukaan dalam pipa.

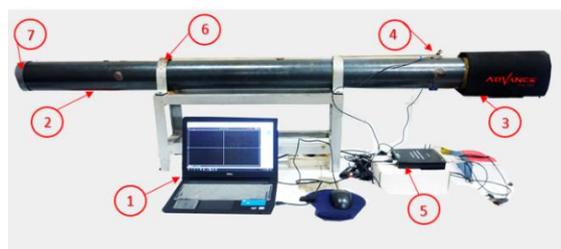
2. Metodologi

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 dual 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 [6]. 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 [7]. 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 pada arah 0° , 90° , 180° dan 270° . Untuk mengetahui arah kerusakan pada selubung pipa, penelitian ini menggunakan metode *dual microphone* dimana pencuplikan sinyal respon dilakukan dalam dua tahap pencuplikan untuk satu kondisi pengujian. Tahap pertama dilakukan pencuplikan dengan dua buah mikrofon sedangkan lubang yang lain ditutup. Selanjutnya posisi kedua mikrofon diganti dengan lubang yang sebelumnya ditutup. 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 [8]. *Set up* pengujian dan komponen-komponen pengujian ditampilkan pada Gambar 1 berikut.

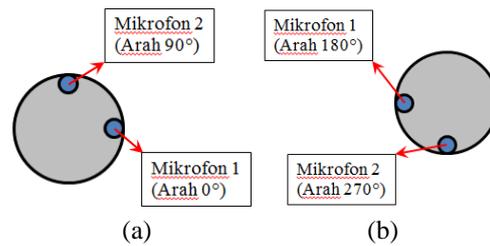


- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1. Laptop | 5. <i>PC-Oscilloscope</i> |
| 2. Pipa | 6. <i>Clamp</i> pipa |
| 3. <i>Loudspeaker</i> | 7. Tutup pipa |
| 4. Mikrofon | |

Gambar 1. *Set up* Pengujian

Susunan mikrofon di dalam pipa dilihat dari penampang pipa yang berhadapan dengan *loudspeaker* dengan posisi setiap mikrofon tegak

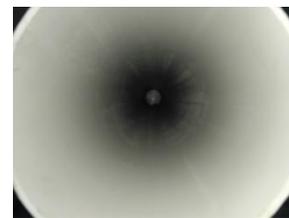
lurus terhadap mikrofon setelahnya. Susunan dual mikrofon dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Posisi Dual Mikrofon
(a) Tahap Pertama, (b) Tahap Kedua

2.2 Pengujian Pipa dalam Kondisi Normal

Pengujian pipa pada kondisi normal merupakan pengujian pada pipa tanpa mengalami cacat atau kerusakan. Pengujian ini digunakan sebagai acuan atau perbandingan untuk pengujian pada pipa dalam kondisi retak. Pipa dalam kondisi normal disajikan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Pipa Kondisi Normal

2.3 Pengujian Pipa dalam Kondisi Retak

Pada pengujian pipa dalam kondisi retak, pipa diberikan kerusakan dalam bentuk retak dengan menggunakan gerinda dengan ketebalan 0,5 mm. Ukuran keretakan yang diberikan yaitu retak sepanjang 2 cm diposisikan pada jarak 0,7 m dari *loudspeaker* dalam arah 180° pada selubung pipa. Keretakan yang diberikan dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.

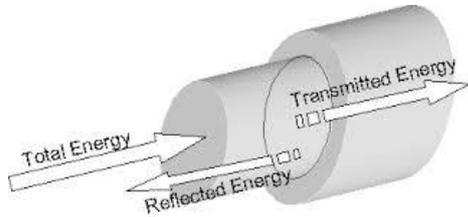


Gambar 4. Retak Ukuran 2 cm

2.4 Dasar Metode Deteksi Kerusakan pada Pipa

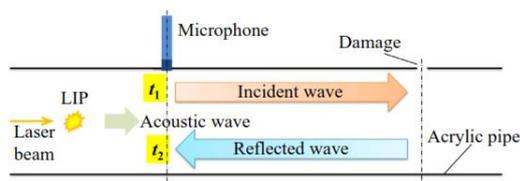
Metode deteksi kerusakan pipa dalam bentuk keretakan yang akan digunakan pada penelitian ini menggunakan refleksi akustik (*acoustic reflection*). Gelombang akustik dalam media fluida sangat sensitif terhadap setiap diskontinuitas di dalam sifat-sifat fluida. Jika total energi gelombang akustik diberikan ke dalam pipa misalnya dari kiri ke kanan pipa, maka dari total energi tersebut sebagian energi akan dipantulkan jika terdapat

perbedaan luas penampang (diskontinuitas) dan sebagian energi lagi diteruskan seperti yang disajikan pada Gambar 5 berikut. Gelombang reflektif akan terjadi bila ada perubahan dalam luas penampang pipa, sehingga hal ini memudahkan untuk pendeteksian perubahan penampang dalam pipa [9].



Gambar 5. Acoustic Transmission at Pipe Joint

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 yang dapat dilihat pada Gambar 6. Namun efek pantulan gelombang suara yang disebabkan oleh kerusakan akan lebih kecil dibandingkan gelombang akustik yang pertama kali dihasilkan dan pantulan gelombang suara pada ujung pipa [10].



Gambar 6. Skema Pemantulan Gelombang pada Posisi Kerusakan

Pada penelitian ini suara yang telah dieksitasi ke dalam pipa kemudian direkam untuk diolah agar dapat dilihat dengan jelas karakteristiknya dan fitur yang dapat menyajikannya lebih jelas adalah *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Wavelet Transform*.

2.5 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.

Transformasi *Fourier* bersifat reversibel, yaitu suatu fungsi dapat ditransformasikan ke dalam domain frekuensi yang memuat informasi frekuensi dan amplitudonya dan diinversikan lagi ke dalam domain waktu yang memuat informasi waktu dan amplitudonya. Namun kedua informasi tersebut tidak bisa diperoleh secara bersamaan. Representasi

fungsi dalam domain frekuensi tidak memuat informasi waktu, demikian pula sebaliknya [11]. Transformasi *Fourier* dapat didefinisikan ke dalam dua persamaan berikut:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

$$x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (2)$$

Dalam persamaan tersebut, t adalah waktu dan f adalah frekuensi. x merupakan notasi sinyal dalam domain waktu dan X adalah notasi sinyal dalam domain frekuensi. Persamaan (1) disebut transformasi *fourier* dari $x(t)$ sedangkan persamaan (2) merupakan invers transformasi *fourier* dari $X(f)$.

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].

Matlab dapat mengaplikasikan deret dan transformasi *Fourier* untuk melihat sinyal dalam domain waktu maupun domain frekuensi. Dalam Matlab telah disediakan fungsi aplikasi *Fast Fourier Transform* (FFT) yang mencakup berbagai bidang.

2.6 Wavelet Transform

Transformasi *wavelet* merupakan perbaikan dari *Fast Fourier Transform* (FFT). FFT hanya dapat menangkap informasi apakah suatu sinyal memiliki frekuensi tertentu atau tidak, namun tidak dapat menangkap dimana frekuensi itu terjadi [13]. Jika FFT hanya memberikan informasi tentang frekuensi suatu sinyal, maka transformasi *wavelet* memberikan informasi tentang kombinasi skala dan frekuensi. Sebagai ilustrasi seperti pada 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 translasi, skala dan amplitudo (koefisien).

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

- 1) Penggeseran, misalnya $y(x-1)$, $y(x-2)$, $y(x-b)$,
- 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.

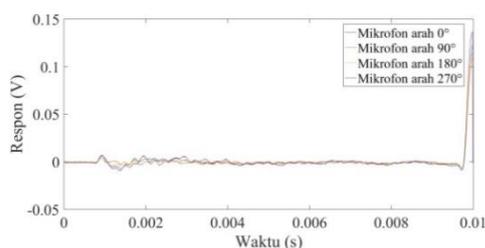
3. Hasil dan Pembahasan

Data yang diolah dengan Matlab menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Wavelet Transform* dan dianalisis sesuai dengan dengan kondisi pengujian yang dilakukan. Pipa yang digunakan adalah pipa lurus dengan ukuran diameter 4 inch dan panjang 1,7 m. Untuk mengetahui posisi kerusakan, pada penelitian ini memanfaatkan pantulan suara (*acoustic reflection*) dimana sinyal suara yang dieksitasi dari salah satu ujung pipa harus mencapai ujung pipa lain lalu dipantulkan kembali dan selanjutnya diterima oleh mikrofon. Waktu yang dibutuhkan untuk pencuplikan sinyal sesuai dengan panjang pipa yaitu: $\frac{\text{panjang pipa}}{\text{cepat rambat suara}} \times 2 = \frac{1,7 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} \times 2 = 0,01 \text{ s}$

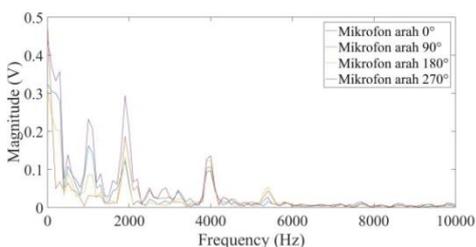
Semua pengujian dilakukan dengan menggunakan waktu pencuplikan selama 0,01 detik. Waktu tersebut merupakan karakteristik sinyal yang muncul di sepanjang pipa yang digunakan pada penelitian.

3.1 Kondisi Normal

Pada grafik sinyal domain waktu, sumbu *x* menunjukkan waktu dalam satuan detik dan sumbu *y* menunjukkan nilai respon dalam satuan Volt yang disajikan pada Gambar 7. Sebuah grafik domain waktu menunjukkan perubahan sinyal dari waktu ke waktu, sedangkan grafik domain frekuensi menunjukkan berapa banyak sinyal terletak dalam setiap pita frekuensi yang diberikan pada rentang frekuensi. Pada grafik sinyal selang frekuensi, sumbu *x* menunjukkan nilai frekuensi dengan satuan Hertz dan sumbu *y* menunjukkan besarnya *magnitude* dalam satuan Volt yang disajikan pada Gambar 8.

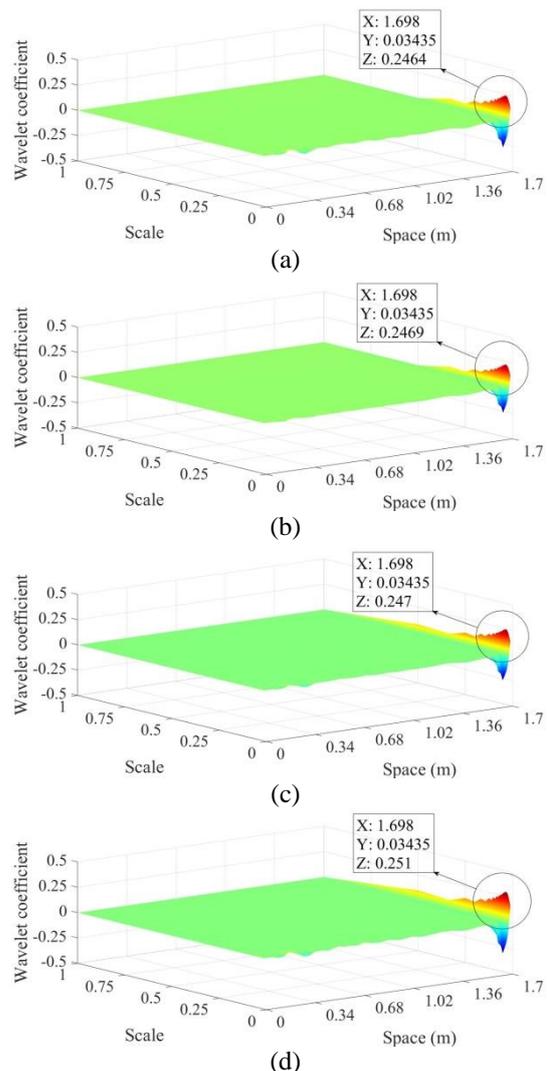


Gambar 7. Sinyal Domain Waktu Pipa Normal



Gambar 8. Sinyal Domain Frekuensi Pipa Normal

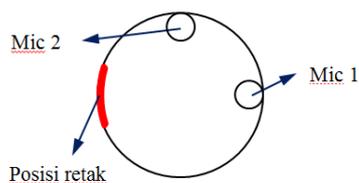
Metode FFT saja tidak cukup untuk melihat bentuk dan lokasi karakteristik sinyal sehingga dibutuhkan metode *Wavelet Transform*. Grafik sinyal selang waktu dapat memberikan informasi jarak (*space*) dengan cara mengalikan dengan cepat rambat suara. Pada metode *Wavelet Transform* ini didapatkan grafik tiga sumbu yaitu sumbu *x* yang menunjukkan jarak dengan satuan meter (m), sumbu *y* menunjukkan skala, dan sumbu *z* yang menunjukkan koefisien *wavelet* seperti pada Gambar 9 berikut. Karakteristik puncak yang muncul pada bagian akhir mengindikasikan adanya tutup pipa (*close end*).



Gambar 9. *Wavelet Transform* Pipa Normal (a) *Mic* 0°, (b) *Mic* 90°, (c) *Mic* 180°, (d) *Mic* 270°

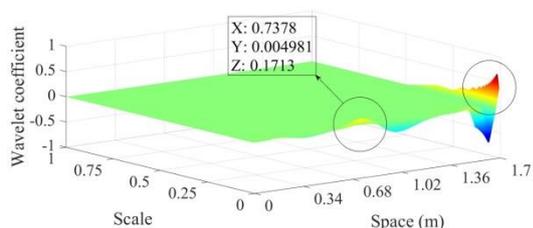
3.2 Kondisi Retak

Pada pengujian pipa dengan keretakan ukuran 2 cm, keretakan yang diberikan pada jarak 0,7 m dalam arah 180° pada selubung pipa. Pengujian dengan dual mikrofon dan keretakan yang diberikan pada tahap pertama dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.

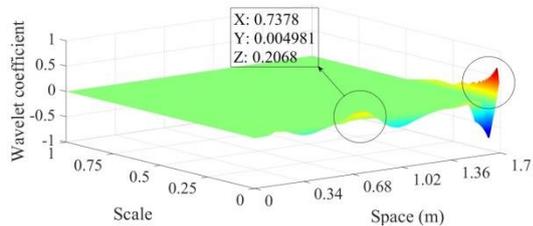


Gambar 10. Pengujian dengan Dual Mikrofon Tahap Pertama

Hasil analisa *Wavelet Transform* pada kondisi retak ukuran 2 cm tahap pertama dapat dilihat pada Gambar 11. Dari grafik hasil pengolahan dapat dilihat bahwa keretakan terdeteksi pada posisi 0,7378 m. Dari kedua posisi mikrofon, koefisien *wavelet* pada mikrofon 2 sebesar 0,2068 lebih tinggi dibandingkan mikrofon 1 sebesar 0,1713. Perbedaan ini sesuai dengan posisi mikrofon 2 yang lebih dekat terhadap arah keretakan yang diberikan pada permukaan pipa.



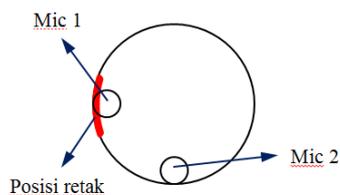
(a)



(b)

Gambar 11. *Wavelet Transform* Kondisi Retak Pengujian Dual Mikrofon Tahap Pertama (a) Mikrofon 1, (b) Mikrofon 2

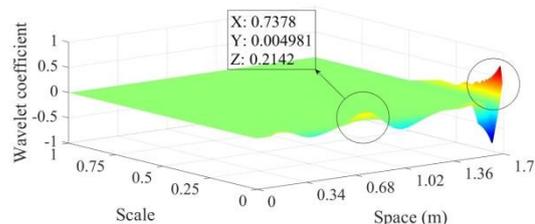
Selanjutnya untuk pengujian dual mikrofon tahap kedua maka posisi mikrofon dipindahkan pada arah 180° dan 270°. Posisi mikrofon dan kerusakan pada pengujian tahap kedua dapat dilihat pada Gambar 12 berikut.



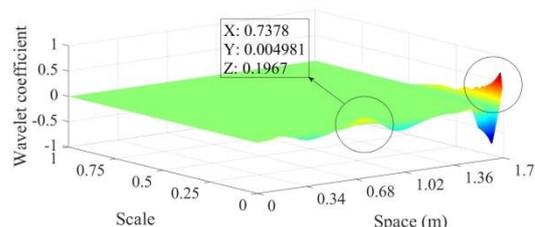
Gambar 12. Pengujian dengan Dual Mikrofon Tahap Kedua

Hasil pengolahan *Wavelet Transform* dari pengujian kondisi retak tahap kedua dapat dilihat

pada Gambar 13 berikut. Koefisien *wavelet* pada mikrofon 1 sebesar 0,2142 lebih tinggi dibanding mikrofon 2 sebesar 0,1967. Hasil pengujian dari kedua tahap menunjukkan bahwa koefisien *wavelet* tertinggi terjadi pada mikrofon arah 180°. Hal ini sesuai dengan kondisi sebenarnya yaitu keretakan diposisikan dalam arah 180° pada selubung pipa. Karakteristik puncak berwarna pekat pada bagian akhir mengindikasikan adanya tutup pipa.



(a)



(b)

Gambar 13. *Wavelet Transform* Kondisi Retak Pengujian Dual Mikrofon Tahap Kedua (a) Mikrofon 1, (b) Mikrofon 2

Nilai koefisien *wavelet* keempat posisi mikrofon dari kedua tahap pengujian dengan dual mikrofon disajikan pada Tabel 1 berikut. Posisi mikrofon dengan koefisien *wavelet* tertinggi menunjukkan posisi keretakan pada selubung pipa.

Tabel 1. Koefisien *Wavelet* pada Kondisi Retak

No.	Posisi Mikrofon	<i>Wavelet coefficient</i>	<i>Estimation Error (%)</i>
1	Mikrofon 0°	0.1713	5.4
2	Mikrofon 90°	0.2068	5.4
3	Mikrofon 180°	0.2142	5.4
4	Mikrofon 270°	0.1967	5.4

4. Simpulan

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

1. Eksitasi sinyal suara dan pencuplikan sinyal respon menggunakan dual mikrofon yang dilakukan terhadap pipa dapat mengidentifikasi kerusakan pada pipa dalam bentuk retak dengan pengolahan sinyal menggunakan metode *Wavelet Transform* dengan menghubungkan terhadap cepat rambat suara.
2. Posisi kerusakan pada arah selubung dalam permukaan pipa dapat ditentukan dari koefisien *wavelet* tertinggi dari posisi masing-masing mikrofon yang disusun di dalam pipa.

Daftar Pustaka

- [1]. Adnan, N. F., M. F. Ghazali. (2014), "Detecting Leak in Gas Pipeline using Continuous Wavelet Transform and Kurtosis", *Malaysian Technical Universities Conference and Engineering Technology* 8(0): 107-116.
- [2]. Yahya, T. H. M., F. Huda, "Deteksi Kebocoran dan Sumbatan pada Pipa Menggunakan Sinyal Suara", *Jom FTEKNIK Universitas Riau*, Vol. 5, No. 1, 2018.
- [3]. Satria, R. T., F. Huda, "Deteksi Kebocoran dan Sumbatan pada Jaringan Pipa Menggunakan Sinyal Suara", *Jom FTEKNIK Universitas Riau*, Vol. 5, No. 2, 2018.
- [4]. Sujatmiko, A., F. Huda. (2018), "Deteksi Korosi Pipa Menggunakan Sinyal Suara." *Jom FTEKNIK Universitas Riau*, Vol. 5, No. 1, 2018.
- [5]. M. Bur, M. Okuma, J. Malta, F. Huda, Experimental Study of Vibration on Rotor System Due to Unbalance Mass and Misalignment, *Jurnal Poros Poros* Vol. 8 No. 4, 2005, pp. 234-242.
- [6]. 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.
- [7]. F. Huda, I. Kajiwarra, 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.
- [8]. F. Huda, I. Kajiwarra, N. Hosoya, S. Kawamura. (2013), "Bolted Joint Loosening Detection by Using Laser Excitation." *Health Monitoring of Structural and Biological Systems* 8695(0): 869531.
- [9]. Papadopoulou, K. M., et al. (2008), "An Evaluation of Accoustic Reflectometry for Leakage and Blockage Detection", *IMechE Part C, Mechanical Engineering Science* 222(6): 959-966.
- [10]. Kajiwarra, 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]. 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.
- [12]. Riyanto, S., dkk. (2009). "*Algoritma Fast Fourier Transform (FFT) Decimation In Time (DIT) dengan Resolusi 1/10 Hertz.*" Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA Fakultas MIPA, UNY.
- [13]. Kurniawan, Iwan. 2012. Diklat Pengolahan Sinyal-UTS. Politeknik Jambi.