

DETEKSI KERUSAKAN DALAM BENTUK KEBOCORAN DAN SUMBATAN ELBOW PIPA MENGGUNAKAN SINYAL SUARA DAN DELAPAN MIKROFON

Raynold Harlem Hutasoit¹, Feblil Huda²

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

Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

¹raynold.harlem2576@student.unri.ac.id, ²feblil.huda@eng.unri.ac.id

Abstract

In this study, damage to the pipe was detected using a voice signal and eight microphones. The voice signal method is a smart structural health monitoring that can detect damage at a lower cost. Sound excitation is given using a loudspeaker and the response of the sound signal is sampled using eight microphones connected to a PC-Oscilloscope which functions to convert the analog signal from the recorded sound into a digital signal in the form of a time domain value and then uses a Continuous Wavelet Transform (CWT) to determine the location of the damage. occurs in the pipe sheath. To detect the location of pipe damage in various damage positions, it can be searched by comparing the wavelet coefficient and seen on the polar plot of eight microphones. The damage given is in the form of plugs and leaks with different distances and positions. From the experimental results obtained for a single pipe with leaking conditions on leaking pipe testing 0.7 m in the direction of 210° it can be seen that the highest wavelet coefficient value occurs at microphone 6 and microphone 5 which is 0.01374 and 0.01274 according to the location of the damage that occurred in the an angle of 210° between 180° and 225°. It can be seen the location of the damage position in the pipe casing through the polar plot, the point that is further away from the outer circle on the 6-way microphone 225° and the 5-way microphone 180° is the position of the location damage pipe.

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

1. Pendahuluan

Sistem perpipaan merupakan sebuah sistem pengaliran suatu fluida yang sangat penting didalam bidang industri. Karena memiliki fungsi sebagai transportasi yang efektif dan efisien dalam mengalirkan fluida. Fluida yang dialirkan pada sistem perpipaan berupa air minum, minyak, dan zat lainnya. Kebutuhan sistem perpipaan pada bidang industri cenderung meningkat. Dengan demikian pentingnya untuk mengkaji dan mencegah jenis kerusakan yang akan muncul pada sistem perpipaan. Jenis kerusakan yang terjadi pada sistem perpipaan yaitu kebocoran pipa, penyumbatan pipa, pemasangan pipa yang salah, plester tembok yang mengalami kerusakan, kualitas pipa yang sangat buruk. Dan kerusakan pipa yang paling banyak ditemui yaitu kebocoran pipa dan penyumbatan pipa.

Kebocoran pada pipa merupakan salah satu masalah yang paling penting terkait dengan sistem perpipaan. Penyebab terjadinya kebocoran bisa karena adanya kotoran yang menyumbat kemudian terjadi perubahan tekanan air yang menyebabkan kebocoran karena air tidak bisa mengalir keluar dengan lancar. Deteksi kebocoran sangat penting untuk mengurangi kerugian biaya dan dapat mengurangi kerusakan yang lebih parah.

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 pipa. Jika dibiarkan dapat menyebabkan rendahnya efisiensi transportasi fluida dan bahkan

dapat mengakibatkan rusaknya beberapa komponen pendukung sistem pipa akibat *overload* karena sumbatan [1].

Salah satu penelitian yang sudah dilakukan dengan menggunakan sinyal suara yaitu deteksi kebocoran pada pipa gas menggunakan *Continuous Wavelet Transform* (CWT) dimana nilai kurtosis yang akan menjadi acuan pada saat pipa dalam kondisi normal dan kebocoran [2]. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah nilai kurtosis kondisi kebocoran lebih besar daripada kondisi pipa normal.

Deteksi kebocoran dan sumbatan pada jaringan pipa menggunakan suara sebagai eksitasi dan mikrofon sebagai sensor penangkap sinyal suara untuk mendeteksi kebocoran dan sumbatan pada jaringan pipa [3]. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu sinyal yang menunjukkan jarak dan tingkat kerusakan yang terjadi menggunakan *Continuous Wavelet Transform*.

Penelitian lain dilakukan menggunakan suara berupa impuls sebagai sumber eksitasi dan *dual* mikrofon yang dihubungkan kepada DAQ (*Oscilloscope*) dan (CWT) untuk menentukan letak kerusakan yang terjadi pada selubung pipa [4]. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah letak kerusakan pipa di berbagai posisi kerusakan dapat dicari dengan membandingkan *wavelet coefficient* dari keempat mikrofon dan deteksi kerusakan lebih dari satu dengan melihat pada sinyal domain waktu.

Berdasarkan penelitian tersebut maka akan dikembangkan metode penggunaan eksitasi suara dan sinyal suara dengan sensor delapan buah mikrofon dalam pendeteksian kerusakan pipa yang

mendeteksi letak kerusakan di berbagai posisi seperti pada posisi kerusakan setengah D (diameter) pada sumbatan elbow pipa, dari delapan mikrofon di peroleh nilai *wavelet coefficient* kemudian digabungkan menjadi satu grafik *polar plot* yang membentuk selubung pipa yang bertujuan untuk mendapatkan letak posisi kerusakan pada selubung pipa yang di variasikan.

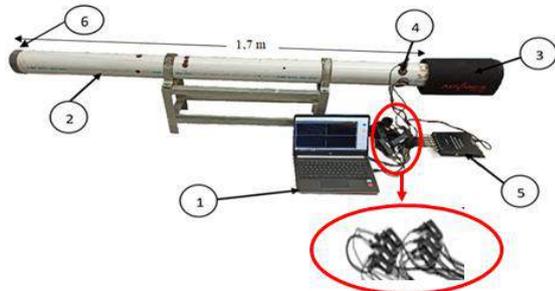
2. Metodologi

2.1 Set up Pengujian

Pada penelitian ini, dilakukan pendeteksian posisi kerusakan dalam bentuk sumbatan pada pipa dengan memberikan eksitasi suara dari *loudspeaker* dan pencuplikan sinyal responnya menggunakan delapan mikrofon. Eksitasi suara yang digunakan adalah suara impuls. Eksperimen menggunakan pipa tunggal yang dimensi nya telah ditentukan. *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 meminimalkan kerusakan dapat diusulkan sebagai metode deteksi kerusakan dengan kualitas dan keandalan yang baik [5]. 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.

Dalam melakukan pengambilan data akan diambil beberapa data dalam tiap kondisi kemudian akan dirata-ratakan karena dalam kondisi yang sama dapat menghasilkan perbedaan yang kecil sehingga dibutuhkan beberapa data

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 [6]. *Set up* pengujian ditampilkan pada Gambar 1 dan komponen *set up* pengujian ditampilkan pada Tabel 1.



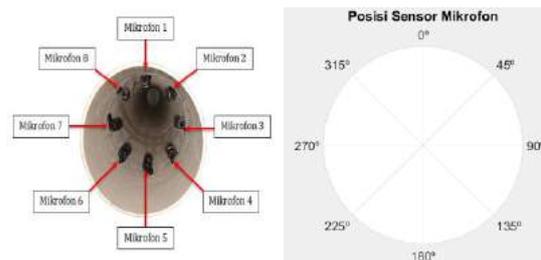
1. Laptop
2. Pipa PVC
3. *Loudspeaker*
4. Mikrofon
5. *PC-Oscilloscope*
6. Tutup pipa

Gambar 1. *Set up* Pengujian

Tabel 1 Komponen *Set up* Pengujian

No	Komponen	Keterangan	Spesifikasi
1.	Laptop	Digunakan untuk menjalankan dan mengolah sinyal <i>input</i> dan <i>output</i>	Merek : Acer Proesor : AMD Ryzen 3 OS : Windows 10
2.	Pipa PVC	Benda kerja yang akan diteliti	Ukuran : 4 <i>inchi</i>
3.	<i>Loudspeaker</i>	Sebagai sumber eksitasi sinyal suara (<i>impuls</i>)	Merek : <i>Advance</i> T-101 BT Tegangan DC : 12 V (88 dB) Power input: AC 220V 50 Hz
4.	Mikrofon	Sebagai sensor untuk merekam respon sinyal	Merek : TOA ZM-360 Tegangan DC : 1,5 V 70-20.000 Hz <i>Frequency Response</i>
5.	<i>Hantek</i>	Berperan sebagai Data <i>Aquisition</i> (DAQ)	Merek : <i>Hantek</i> 1008C Chanel: 8, <i>input sensitivity</i> : 10 mV/div to 5 V/div <i>Frequency range</i> : 0-250 kHz
6.	Tutup pipa	Agar suara yang ditembakkan dapat di pantulkan	Ukuran : 4 <i>inchi</i>

Susunan posisi delapan mikrofon di dalam pipa dilihat dari penampang pipa yang berhadapan dengan *loudspeaker* dengan antara sudut 45° tiap mikrofon dan posisi searah jarum jam. 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 delapan mikrofon

2.2 Pengujian Pipa dalam 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 ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pipa Kondisi Normal

2.3 Pengujian Pipa pada Kondisi Kerusakan

Pada kondisi ini kerusakan diberikan dalam bentuk sumbatan setengah diameter pipa dengan jarak 1m dan arah 180°. Sumbatan diberikan

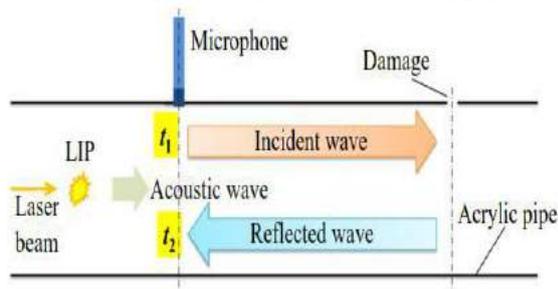
dengan bahan dari plastisin, perlakuan yang diberikan sama untuk pengujian pipa kondisi sumbatan dan kondisi normal. Bentuk sumbatan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pipa Kondisi Sumbatan

2.5 Dasar Metode Deteksi Kerusakan pada Pipa

Kerusakan pipa dalam bentuk sumbatan dan kebocoran hendaknya dilakukan pendeteksian, pada penelitian ini metode deteksi sumbatan dan kebocoran akan dijelaskan sebagai berikut. Waktu saat gelombang akustik pertama kali di terima oleh mikrofon adalah t_1 . Selanjutnya gelombang di sebarakan dalam bentuk aslinya hingga mencapai kerusakan. Setelah itu gelombang terbagi menjadi gelombang pantulan yang di sebabkan oleh kerusakan dan di lanjutkan kembali. Gelombang pantulan kembali di terima 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 5. Namun efek pantulan gelombang suara yang di sebabkan oleh kerusakan akan lebih kecil dibandingkan gelombang akustik yang pertama kali dihasilkan dari pantulan gelombang suara pada ujung pipa [7].



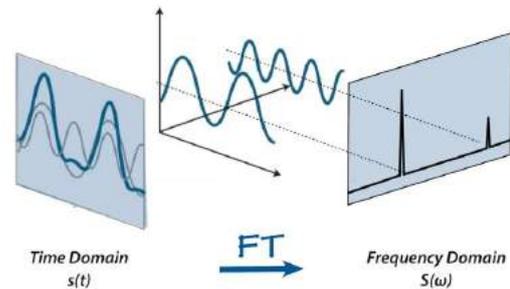
Gambar 5. Skema Pemantulan Gelombang pada Posisi Kerusakan

Sumber: Kajiwara, 2017

2.6 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. *Fast Fourier Transform* bersifat reversibel, yaitu suatu fungsi dapat ditransformasi ke dalam domain frekuensi yang memuat informasi frekuensiamplitudo, dan diinversikan lagi ke

domain waktu [8]. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.

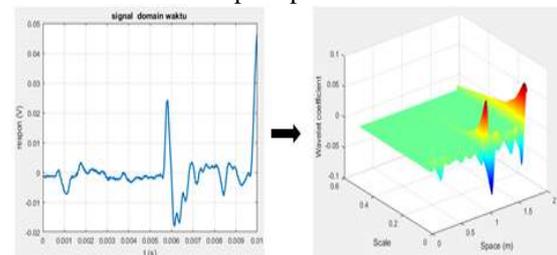


Gambar 6 Time Domain Signal menjadi Frequency Domain Signal

Sumber: Leightonzhong, 2016

2.7 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 [9]. 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 7.



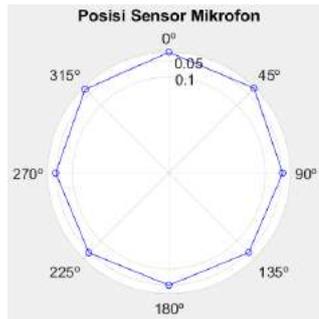
Gambar 7. Analisis Wavelet

Ada berbagai jenis *Wavelet Transform*, pada penelitian 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* [10].

2.8 Polar Plot

Perintah *plot* sering digunakan untuk menggambarkan grafik dua dimensi, perintah *plot* menggambarkan data dalam *array* pada sumbu yang bersesuaian dan menghubungkan titik-titik tersebut dengan garis lurus. Grafik, pada umumnya, memungkinkan untuk memetakan dimensi pada

data menjadi properti visual berbentuk geometris. Grafik garis khususnya cocok untuk menunjukkan evolusi temporal, sementara grafik batang bagus sekali untuk membanding data dengan kategori tertentu. Visualisasi data dapat ditumpuk menjadi beberapa elemen grafik. Untuk membandingkan sejumlah kecil kelompok pada data, beragam sajian grafik dapat menjadi alternatif untuk menganalisis data dengan lebih mudah. Fungsi polar plot digunakan untuk menggambar grafik 2D dengan skala linear pada kedua sumbu yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Polar Plot 2D

3. Hasil dan Pembahasan

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

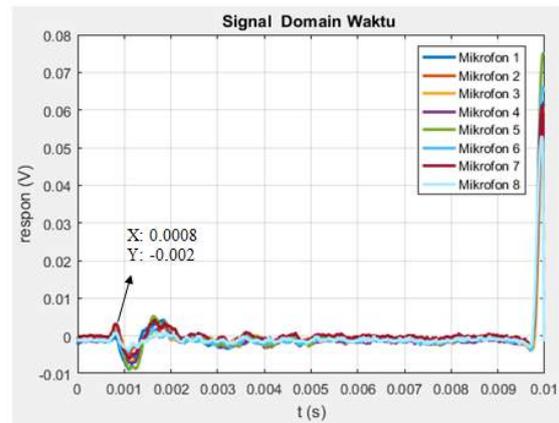
$$\begin{aligned} \text{Waktu pencuplikan data} &= \frac{\text{panjang pipa}}{\text{cepat rambat suara}} \times 2 \\ &= \frac{1,7 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} \times 2 = 0,01 \text{ s} \end{aligned}$$

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.

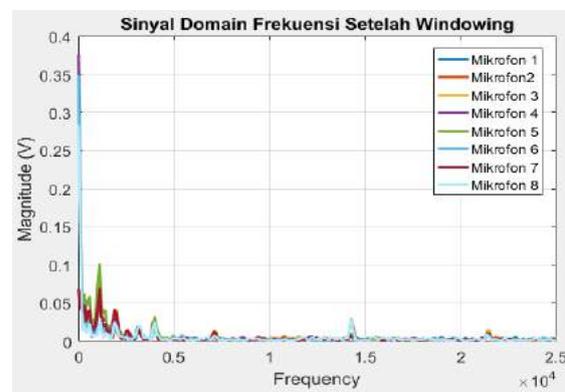
3.1 Kondisi Normal

Sinyal suara pada Gambar 9 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 *Fast Fourier*

Transform. Sinyal domain domain frekuensi ditunjukkan pada Gambar 10.

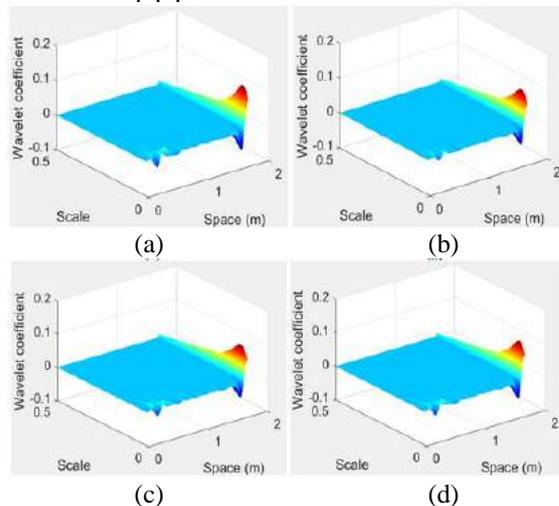


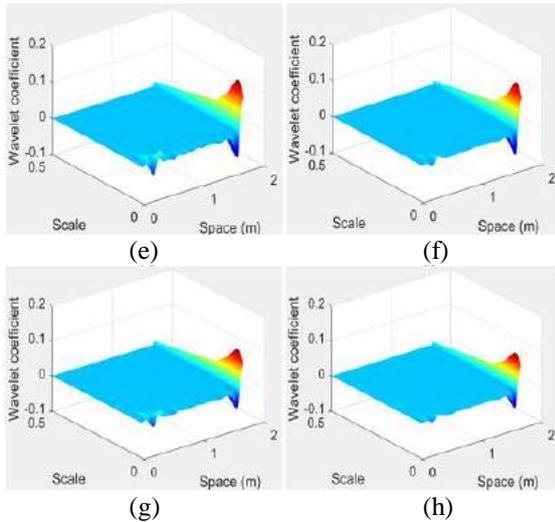
Gambar 9. Sinyal Domain Waktu



Gambar 10. Sinyal Domain Frekuensi

Grafik sinyal domain waktu memberikan informasi berupa jarak (*space*) dengan cara menghubungkan dengan cepat rambat udara. 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 11. Karakteristik puncak yang muncul pada bagian akhir merupakan kondisi tutup pipa.

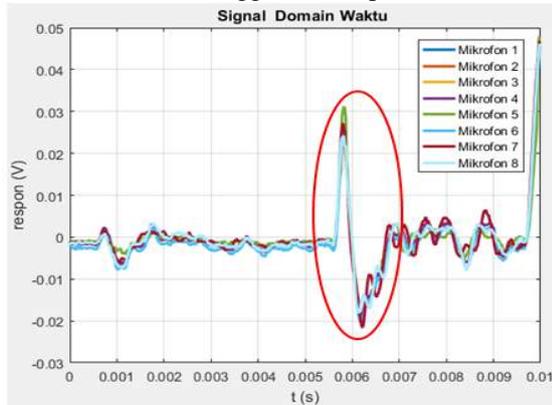




Gambar 11. *Wavelet Transform* Pipa Normal
 (a) Mikrofon 1, (b) Mikrofon 2, (c) Mikrofon 3, (d) Mikrofon 4, (e) Mikrofon 5, (f) Mikrofon 6, (g) Mikrofon 7 dan (h) Mikrofon 8

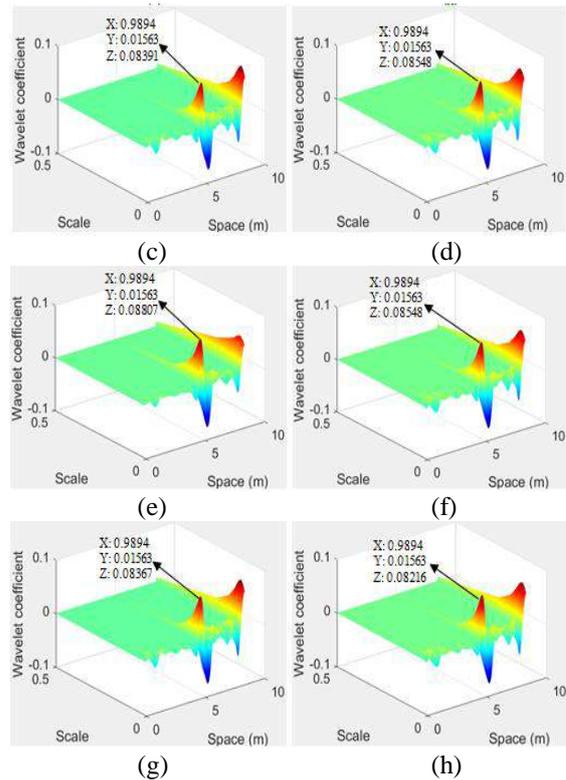
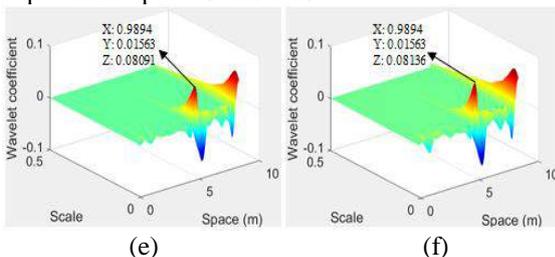
3.2 Kondisi Sumbatan

Karakterisasi sinyal domain waktu pada kondisi sumbatan di jarak 1 m dapat dilihat pada Gambar 12. Dari grafik sinyal suara tersebut dapat dilihat ada respon dari sinyal yang direkam naik dengan signifikan pada bagian yang di lingkari, di sebabkan karena terjadinya diskontinuitas dari sumbatan tersebut hingga muncul puncak.



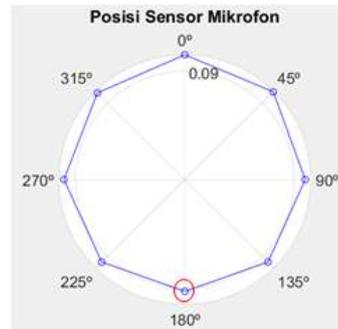
Gambar 12. Sinyal Domain Waktu

Sedangkan untuk *wavelet transform* pada kerusakan sumbatan mengalami perubahan respon yang signifikan dari pada kondisi normal yaitu pada posisi letak kerusakan sumbatan yang terjadi titik puncaknya mengalami kenaikan yang lebih tinggi dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. *Wavelet Transform* Pipa Sumbatan
 (a) Mikrofon 1, (b) Mikrofon 2, (c) Mikrofon 3, (d) Mikrofon 4, (e) Mikrofon 5, (f) Mikrofon 6, (g) Mikrofon 7 dan (h) Mikrofon 8

Hasil dari *wavelet transform* akan didapat nilai *wavelet coefficient* ditampilkan pada Tabel 2. Nilai dari Tabel 2 *wavelet coefficient* akan digabungkan dan menjadi grafik *polar plot* dapat dilihat pada Gambar 14. Bagian yang dilingkari merupakan posisi terdekat dari kerusakan yang terjadi.



Gambar 14. *Polar Plot* pipa sumbatan jarak 1 m

Tabel 2 Jarak dan *wavelet coefficient* pipa Sumbat

Posisi Sensor	Jarak (m)	<i>Wavelet coefficient</i>
Mikrofon 1 (arah 0°)	0.9894	0.08091
Mikrofon 2 (arah 45°)	0.9894	0.08136
Mikrofon 3 (arah 90°)	0.9894	0.08391
Mikrofon 4 (arah 135°)	0.9894	0.08548
Mikrofon 5 (arah 180°)	0.9894	0.08807
Mikrofon 6 (arah 225°)	0.9894	0.08548
Mikrofon 7 (arah 270°)	0.9894	0.08367
Mikrofon 8 (arah 315°)	0.9894	0.08216

Dari Tabel 2 dapat terlihat *wavelet coefficient* tertinggi terjadi pada mikrofon 5 arah 180° yaitu 0,08807 di bagian yang di lingkari dan pada Gambar 13 hasil *wavelet transform* dapat terlihat titik puncak yang tinggi dibandingkan *wavelet transform* kondisi normal, sehingga hal ini menjadi karakter untuk kondisi sumbat melalui *wavelet transform*. Dapat diketahui Gambar 14 yang menunjukkan posisi kerusakan yaitu titik yang lebih jauh dari lingkaran terluar terdapat pada mikrofon 5 arah 180° pada bagian yang di lingkari.

4. Kesimpulan

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

1. Refleksi akustik terjadi sebagai akibat dari adanya kerusakan dalam bentuk bocor dan sumbat pada pipa. Letak serta arah kerusakan yang diberikan berbanding lurus dengan besarnya nilai wavelet coefficient.
 2. Pengidentifikasi 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 terlihat pada wavelet coefficient dan polar plot dari ke delapan mikrofon dan jenis kerusakan dapat di cari dengan cara memperhatikan sinyal domain waktu dari kerusakan yang terjadi pada selubung pipa.
 4. Untuk karakter khusus bentuk sinyal kebocoran mengalami penurunan sinyal domain waktu, untuk bentuk sinyal sumbatan mengalami kenaikan respon yang signifikan, respon kenaikan sinyal pada sumbatan elbow lebih tinggi dibandingkan respon sinyal sumbatan dan respon pada elbow pipa.
4. Hariadi., F. Huda, “Deteksi Kerusakan Pipa Dalam Bentuk Kebocoran Menggunakan Sinyal Suara Dan Dual Mikrofon” Jom FTEKNIK Universitas Riau, vol 7, no. 1, 2020.
 5. F. Huda, I. Kajiwaru, 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..
 6. 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.
 7. Kajiwaru, 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.
 8. 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.
 9. Kurniawan, I. (2012), Diktat Pengolahan Sinyal-UTS. Politeknik Jambi.
 10. Silalahi, Imanuel, dkk. 2010. “Analisa Multi Wavelet Untuk Kompresi Suara.” Electrical Engineering Journal ISSN 1979-2867 Vol. 1 No. 1.

DAFTAR PUSTAKA

1. 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.
2. 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.
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.