

DETEKSI KOROSI PIPA MENGGUNAKAN SINYAL SUARA

Ariya Sujatmiko¹⁾, Feblil Huda²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Mesin, ²⁾Dosen Teknik Mesin
Laboratorium Konstruksi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

¹⁾ariyasujatmiko27@gmail.com, ²⁾feblil.huda@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

The piping systems are an important part of infrastructure in industry, such as the gas and oil industry as a transport in circuits of liquids and gases from one point to another. Problems often found in piping systems are corrosion, leaks, and blockages. Corrosion is the beginning of leakage and blockage. Corrosion detection method in developed pipe, for example radiography method that utilize electromagnetic wave, while method of ultrasonic testing is utilize ultrasonic wave. The disadvantages of both methods are high cost and difficult to operate. The purpose of this research is to analyze sound signal at corrosion pipe by giving acoustic excitation and Identify the change of sound signal that happened due to corrosion position on surface in pipe. In this paper, the basis of corrosion detection in pipes is reflectometry waves using acoustic methods. Reflectometry waves are reflected waves that propagate in the diameter of the pipe. If there is a difference in diameter in the pipe then some waves will be continued along the pipe and the other waves will bounce towards the sound source . Stages of data retrieval is done when filled with air pressure 1 atm and air with various types of corrosion. The way data is collected by giving the sound excitation, then the signal is processed by transforming to the form of fast fourier transform and wavelet transform. The result of examination was obtained emission of acoustic that got detection of corrosion position on pipe diameter and also got estimation error under 10 %.

Keyword : Piping System, Corrosion, Reflectometry, Sound Signal, Fast Fourier Transformation, Wavelet Transformation

1. Pendahuluan

Sistem pemipaan adalah suatu bagian penting dalam infrastruktur dalam industri, seperti industri gas dan minyak. Sistem pemipaan berfungsi sebagai transportasi dalam mendistribusikan fluida zat cair dan gas dari suatu titik ke beberapa titik lainnya dengan jarak ribuan mil, serta wilayah dan posisi jalur yang berbeda-beda. Masalah yang sering ditemukan pada sistem pemipaan adalah korosi, kebocoran, dan sumbatan. Korosi adalah awal dari kebocoran dan sumbatan, sehingga korosi menjadi salah satu masalah penting yang tidak bisa dihindarkan dalam sistem pemipaan. Secara umum korosi merupakan penurunan kualitas dari logam yang diakibatkan oleh reaksi kimia dan unsur-unsur lain dari lingkungan. Deteksi posisi korosi pada diameter dalam pipa sulit untuk dideteksi secara visual dibandingkan deteksi posisi korosi pada diameter luar pipa. Jika posisi korosi pada diameter dalam pipa semakin berkembang maka mengakibatkan pemberhentian operasi pabrik bahkan dapat terjadi ledakan dan kerusakan lingkungan ekosistem yang akan merugikan industri.

Pendeteksian dini pada sistem pemipaan merupakan suatu hal yang sangat penting untuk dikembangkan. Metode pendeteksian korosi pada pipa

telah berkembang, misalnya metode *radiography* yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik dengan menggunakan X-ray dan metode *ultrasonic testing* yang memanfaatkan gelombang ultrasonik dengan menggunakan *piezoelectric* [1]. Kekurangan dari kedua metode tersebut adalah membutuhkan biaya yang besar serta *non contact* terhadap benda uji. Pengukuran harus menggunakan pengujian eksitasi struktural non kontak karena memungkinkan untuk mengekstrak pengukuran yang frekuensi tinggi pada area terkecil [2]. Dasar dari deteksi korosi pada pipa adalah memanfaatkan gelombang *reflectometry*, gelombang *reflectometry* merupakan gelombang pantulan yang merambat pada diameter dalam pipa, jika terjadinya perbedaan permukaan diameter dalam pipa maka sebagian gelombang akan diteruskan sepanjang pipa dan sebagian gelombang lagi akan memantul menuju sumber suara [3].

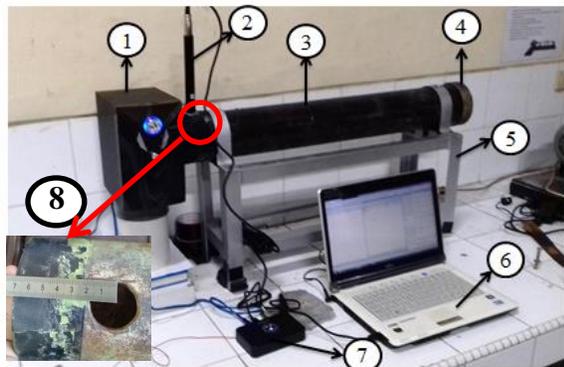
Penelitian ini bertujuan menganalisis sinyal suara pada pipa yang mengalami korosi dengan memberikan eksitasi akustik dan mengidentifikasi perubahan sinyal suara yang terjadi akibat adanya posisi korosi di permukaan dalam pipa menggunakan media air dan tanpa air. Oleh karena itu, metode yang digunakan penulis adalah emisi akustik. Emisi adalah keluaran

dan akustik adalah suara, sehingga metode ini memanfaatkan keluaran suara untuk mendeteksi posisi korosi pada permukaan dalam pipa. Gelombang emisi akustik tidak dapat mengindikasikan ukuran dari kerusakan dan pertumbuhan kerusakan. Gelombang emisi akustik mudah merambat pada komponen metal. Oleh karena itu, sensor struktur diletakkan secara tetap, daerah kerusakan dapat dinyatakan jika beberapa sensor diletakkan secara tersusun sampai waktu gelombang emisi akustik sampai dan bisa direkam [1]. Keunggulan dari metode ini adalah biaya yang murah, karena hanya memerlukan mikrofon sebagai sensor atau penangkap sinyal dan *speaker* sebagai sumber eksitasi.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Set Up Pengujian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah eksperimen yang berupa pendeteksian posisi korosi pengurangan permukaan pada pipa menggunakan sinyal suara. Pipa yang digunakan adalah pipa baja karbon rendah dengan panjang 85 cm, dengan diameter 4 inch, jarak mikrofon dari *speaker* adalah 7 cm. Mikrofon berfungsi sebagai penangkap sinyal suara, *speaker* digunakan sebagai sumber eksitasi. *sound card* berfungsi menghubungkan mikrofon ke PC, dan PC berfungsi untuk merekam hasil pencuplikan data. Sumber eksitasi berupa impuls atau dentuman. Seluruh set up pengujian dapat dilihat pada Gambar 1. Kerusakan buatan berupa korosi pada posisi yang sama dengan tingkatan kerusakan yang berbeda. Kerusakan masing-masing adalah korosi 1, korosi 2, dan korosi 3.



Gambar 1 Set Up Pengujian

Keterangan :

1. Speaker
2. Mikrofon
3. Pipa
4. Tutup Pipa
5. Rangka Pipa
6. PC (Personal Computer)

7. Sound Card

8. Jarak mikrofon dari *speaker*

Pengolah sinyal suara yang digunakan adalah perangkat lunak Matlab, Matlab berfungsi sebagai pencuplik sinyal suara, suara yang diterima berupa domain waktu, dan dapat mentransformasikan kedalam bentuk frekuensi. Matlab terdapat sebuah *toolbox* yang dapat mentransformasikan sinyal kedalam bentuk *wavelet transform*, *wavelet transform* dapat menampilkan posisi dari kerusakan.

2.2 Pengujian Pipa Kondisi Korosi 1

Pengujian pipa kondisi korosi 1 adalah pengujian yang telah dibuat kerusakan, kerusakan yang dibuat adalah korosi. Jenis korosi yang dilakukan pada penelitian ini adalah korosi yang mengalami pengurangan permukaan. Pembuatan korosi 1 yaitu dengan cara menuangkan asam sulfat kedalam permukaan dalam pipa yang didiamkan selama 3 hari. Besar daerah yang direndam dengan asam sulfat adalah 5 cm, sedangkan posisi perendaman berjarak 60 cm dari *speaker*. Hasil pengurangan permukaan dalam pipa sebesar $\pm 0,5$ mm yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Permukaan Pipa Kondisi Korosi 1

2.3 Pengujian Pipa Kondisi Korosi 2

Pengujian pipa kondisi korosi 2 adalah pengujian yang dilakukan dengan menambahkan kerusakan pada posisi yang sama dengan pengujian sebelumnya. Penambahan kerusakan dengan cara membubut permukaan dalam pipa, pengurangan permukaan dalam pipa sebesar ± 2 mm disajikan pada Gambar 3. Posisi kerusakan yang sama tersebut dituangkan kembali dengan asam sulfat, dan direndam selama 3 hari.



Gambar 3 Permukaan Pipa Kondisi Korosi 2

2.4 Pengujian Pipa Kondisi Korosi 3

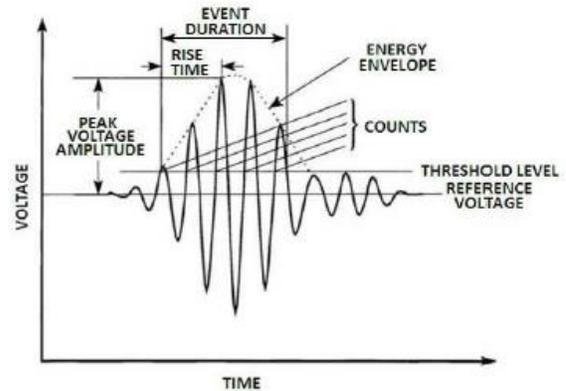
Pengujian pipa kondisi korosi 3 adalah lanjutan pengujian pipa kondisi 2. Lanjutannya berupa penambahan kerusakan dengan cara membubut permukaan dalam pipa pada posisi kerusakan yang sebelumnya. Menyisahkan sebesar ± 2 mm tebal permukaannya, hasil pembubutan disajikan pada Gambar 4. Direndam kembali daerah yang telah dibubut dengan asam sulfat. Data pengujian korosi 3 diplot agar mengetahui bagaimana karakteristik sinyal suara pada permukaan dalam pipa yang mendekati kebocoran.



Gambar 4 Permukaan Pipa Kondisi Korosi 3

2.5 Karakteristik Gelombang Sinyal

Karakteristik gelombang sinyal diolah tergantung pada pemahaman dan pemilihan parameter dari masing-masing pengguna. Data yang diambil merupakan amplitudo sinyal dari voltase maksimum yang terukur dalam suatu sinyal, durasi merupakan waktu sinyal selama voltase masih terukur diatas batas atas (*threshold*), energi gelombang merupakan nilai yang absolut dari luas daerah didalam sinyal aksutik tersebut [4]. Karakteristik gelombang sinyal disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Karakteristik Gelombang Sinyal [5]

2.6 Fourier Transform

Fourier transform adalah salah satu jenis pengolahan sinyal. Berguna untuk mendekomposisi sinyal menjadi ke bentuk ekponensial dari semua frekuensi yang berbeda-beda. *Fourier transform* ditentukan ke dalam dua persamaan berikut [5].

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

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

Dimana;

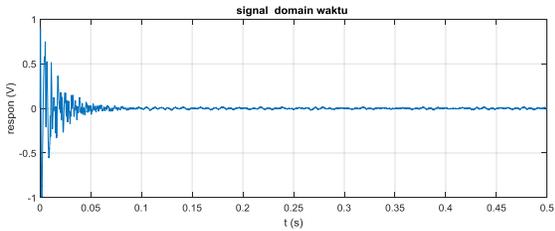
$x(t)$ = fungsi atau sinyal dalam domain waktu

$e^{-j2\pi ft}$ = fungsi kernel

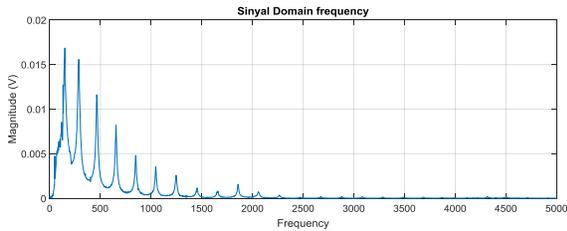
$X(f)$ = fungsi dalam domain frekuensi

f = frekuensi

Fourier transform memiliki dua buah jenis yaitu, *discrete fourier transform* (DFT) dan *fast fourier transform* (FFT). Prinsip dari DFT adalah mentransformasikan sinyal awal berupa analog menjadi diskret 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 [6]. Contoh dari sinyal *fourier transform* dan *fast fourier transform* disajikan pada Gambar 6 (a) dan (b).



(a)



(b)

Gambar 6 Contoh (a) FT, (b) FFT

2.7 Wavelet Transform

Wavelet transform adalah salah satu teknik pengolahan sinyal. Berfungsi untuk mentransformasikan bentuk sinyal yang lebih baik dari *fourier transform*. *Fourier transform* hanya menunjukkan bahwa apakah suatu sinyal memiliki frekuensi tertentu. Tetapi tidak bisa menangkap dimana frekuensi itu terjadi. *Wavelet transform* umum menggunakan *short time fourier transform* (STFT), namun dalam pengembangannya menggunakan *contionous wavelet transform* (CWT) yang dapat memperbaiki beberapa kekurangan dari STFT.

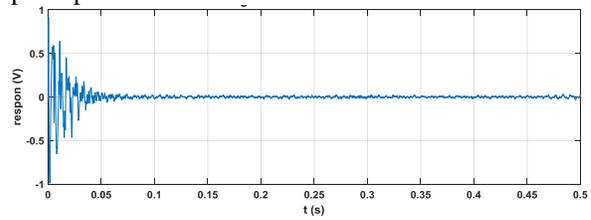
Metode Transformasi berbasis *wavelet* merupakan salah satu sarana yang dapat digunakan untuk menganalisis (meneliti) sinyal-sinyal non-stasioner [7]. Analisis *wavelet* dapat digunakan untuk menunjukkan kelakuan sementara (temporal) pada suatu sinyal, misalnya dalam bidang geofisika (sinyal seismik), fluida, medik dan lain sebagainya [8]. Metode transformasi *wavelet* ini dapat digunakan untuk menapis data atau meningkatkan mutu kualitas data; dapat juga digunakan untuk mendeteksi kejadian-kejadian tertentu serta dapat digunakan untuk pemampatan data [9] Selain itu transformasi *wavelet* juga dapat digunakan untuk analisis sinyal-sinyal non-stasioner (yaitu sinyal yang kandungan frekuensinya bervariasi terhadap waktu), karena berkaitan dengan kemampuannya untuk memisah-misahkan berbagai macam karakteristik pada berbagai skala [10]. *Software* Matlab dapat mentransformasikan sinyal menjadi *wavelet transform* dalam bentuk CWT. CWT dapat menampilkan posisi yang dianggap terjadinya kerusakan dengan tampilan 3 buah sumbu. Sumbu x adalah waktu pencuplikan sinyal, sumbu y adalah skala, dan sumbu Z adalah CWT coefisien. Ketika

sumbu tersebut dapat menginterpretasikan kerusakan yang terjadi.

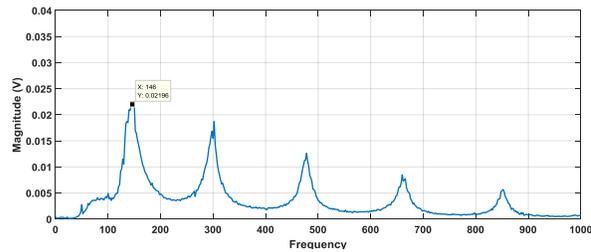
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Kondisi Korosi 1

Daerah korosi sebesar 5 cm di sepanjang permukaan dalam pipa, jarak pembuatan korosi yaitu 0.6 m dari *speaker*, daerah korosi tersebut diredam asam sulfat selama 3 hari. Kemudian data diambil sesuai dengan pipa kondisi korosi 1. Hasil sinyal suara pipa kondisi korosi disajikan pada Gambar 7. Pada Gambar 7 (a) yang merupakan domain waktu, semua pengujian pada kondisi korosi 1, 2, dan 3 memiliki kecenderungan bentuk sinyal yang sama di waktu pencuplikan data 0.5 detik.



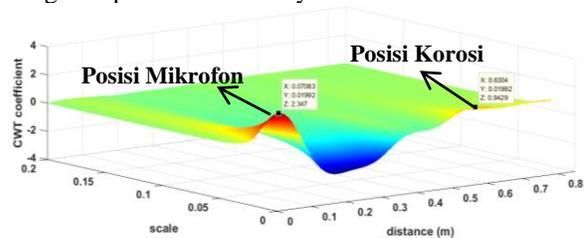
(a)



(b)

Gambar 7 Data Sinyal Suara Kondisi Korosi 1 (a) Domain waktu (b) Domain frekuensi

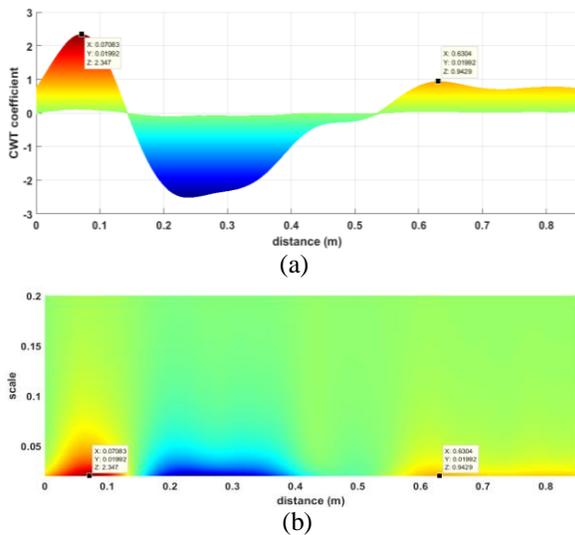
Adapun bentuk *wavelet transform* kondisi korosi 1 disajikan pada Gambar 8. Ada dua buah puncak berwarna merah pada pipa kondisi korosi 1. Puncak pertama menunjukkan posisi *microphone* yaitu 0.07803 m, puncak kedua yaitu posisi korosi di 0.6304 m, nilai CWT *coeficient* dari puncak korosi sebesar 0.9429. Kedua posisi tersebut dapat dideteksi dengan cara mengkalikan jarak sinyal domain waktu dengan cepat rambat suara yaitu 340 m/s.



Gambar 8 Wavelet Transform Kondisi Korosi 1

Tampilan *wavelet transform* disajikan pada Gambar 9 (a) dan (b) hasil *wavelet transform* kondisi pipa korosi 1. Warna kepekatatan yang merata setelah posisi korosi disebabkan oleh kerak yang menempel hingga di akhir pipa seperti Gambar 9. Pada Gambar 9 (a) *wavelet transform* dengan tampilan sumbu X-Z dengan informasi jarak pipa dan nilai CWT *coefficient*, sedangkan Gambar 9 (b) *wavelet transform* dengan tampilan sumbu X-Y dengan informasi jarak pipa dan skala. Selisih hasil pengujian dengan posisi korosi sesungguhnya adalah 3.04 cm, sehingga *estimation error* didapatkan 5.00 % dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

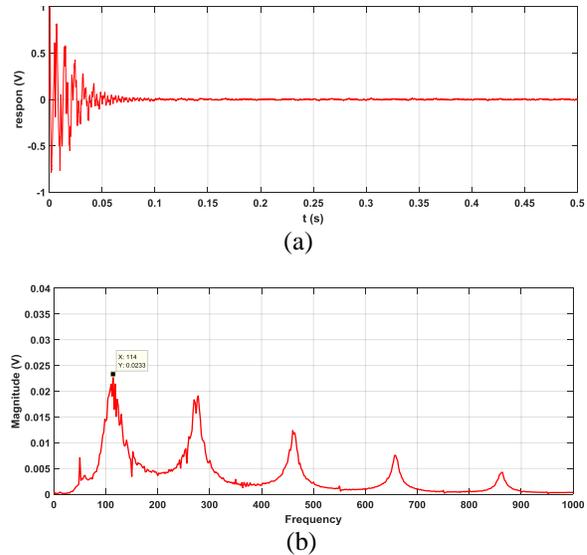
$$\text{Estimation Error} = \left| \frac{0.6 - 0.63}{0.6} \right| \times 100\% = 5.00\%$$



Gambar 9 *Wavelet transform* Pipa Kondisi Korosi 1 (a) Tampilan Sumbu X-Z (b) Tampilan Sumbu X-Y

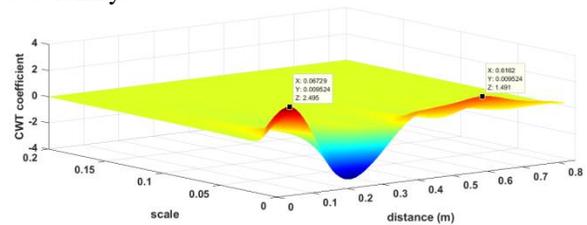
3.2 Pengujian Kondisi Korosi 2

Pengujian pipa kondisi korosi 2 merupakan lanjutan dari pengujian sebelumnya yaitu pipa kondisi korosi 1. Hasil sinyal suara pipa kondisi korosi 2 disajikan pada Gambar 10 (a) dan (b). Gambar 10 (a) bentuk sinyal domain waktu, sedangkan Gambar 10 (b) bentuk sinyal domain frekuensi yang ditransformasikan menggunakan *fast fourier transform*. *Magnitude* sinyal domain frekuensi pada pipa kondisi korosi 2 menunjukkan peningkatan dari pengujian sebelumnya, serta adanya pergeseran nilai frekuensi yang dihasilkan pada penelitian.



Gambar 10 Data Sinyal Suara Kondisi Korosi 2 (a) Domain waktu (b) Domain frekuensi

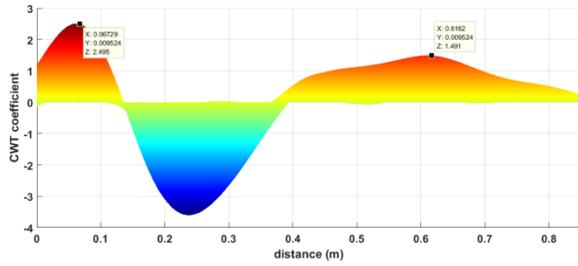
Ditransformasikan ke bentuk *wavelet transform*. Bentuk *wavelet transform* dalam bentuk CWT disajikan pada Gambar 11. Pengujian pipa kondisi korosi 2 ini terdapat dua buah puncak yang menunjukkan posisi dari *microphone* dan korosi dengan posisi masing-masing yaitu 0.06729 m dan 0.6162 m, sedangkan puncak CWT *coefficient* dari korosi 2 meningkat menjadi 1.491, selisih 0,5 dari pengujian sebelumnya.



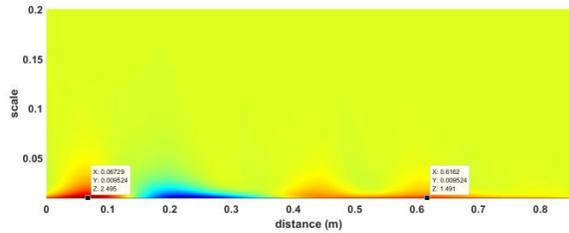
Gambar 11 *Wavelet Transform* Kondisi Korosi 2

Hasil *wavelet transform* pada kondisi pipa korosi 2 ditunjukkan Gambar 12 (a) dan (b). Pada Gambar 12 (a) *wavelet transform* dengan tampilan sumbu X-Z dengan informasi jarak pipa dan nilai CWT *coefficient*, sedangkan Gambar 12 (b) *wavelet transform* dengan tampilan sumbu X-Y dengan informasi jarak pipa dan skala. Selisih hasil pengujian korosi 2 dengan posisi korosi sesungguhnya adalah 1,62 cm, sehingga *estimation error* didapatkan 2.7 % dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Estimation Error} = \left| \frac{0.6 - 0.61}{0.6} \right| \times 100\% = 1.67\%$$



(a)

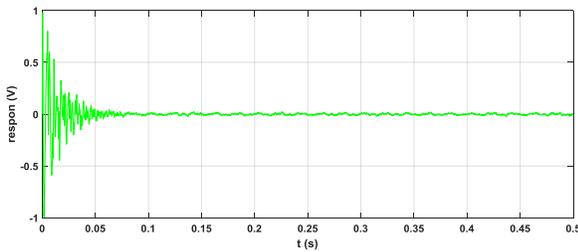


(b)

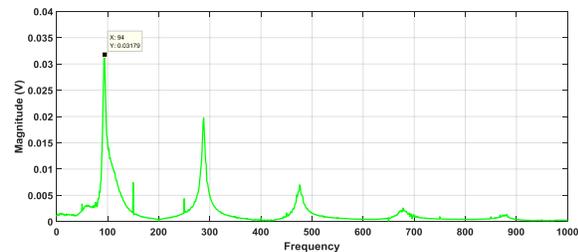
Gambar 12 Wavelet transform Pipa Kondisi Korosi 2
(a) Tampilan Sumbu X-Z (b) Tampilan Sumbu X-Y

3.3 Pengujian Kondisi Korosi 3

Pengujian pipa kondisi korosi 3 adalah pengujian lanjutan dari korosi 2, dimana memiliki langkah-langkah pengambilan data sama dengan sebelumnya. Hasil sinyal suara pipa kondisi korosi 3 disajikan pada Gambar 13 (a) dan (b). Gambar 13 (a) bentuk sinyal domain waktu, sedangkan Gambar 13 (b) bentuk sinyal domain frekuensi yang ditransformasikan menggunakan *fast fourier transform*. Magnitude sinyal domain frekuensi pada pipa kondisi korosi 3 menunjukkan peningkatan dari pengujian sebelumnya.



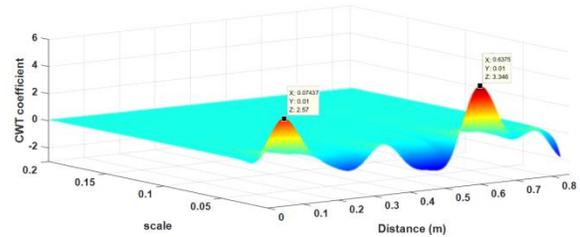
(a)



(b)

Gambar 13 Data Sinyal Suara Kondisi Korosi 2
(a) Domain waktu (b) Domain frekuensi

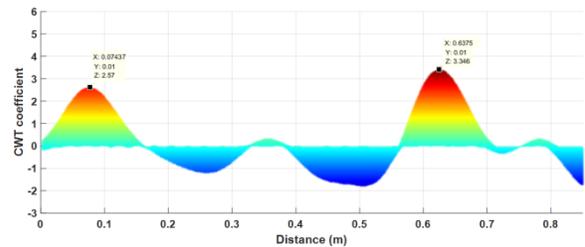
Sinyal domain waktu dari pengujian pipa kondisi korosi 3 ditransformasikan kedalam bentuk *wavelet transform*. Bentuk *wavelet transform* pada pipa kondisi korosi 3 dalam bentuk CWT disajikan pada Gambar 14. Terdapat dua buah puncak yang menunjukkan posisi dari *microphone* dan korosi dengan posisi masing-masing yaitu 0.07437 m dan 0.6375 m dengan nilai CWT *coefficient* dari posisi korosi adalah 3.346.



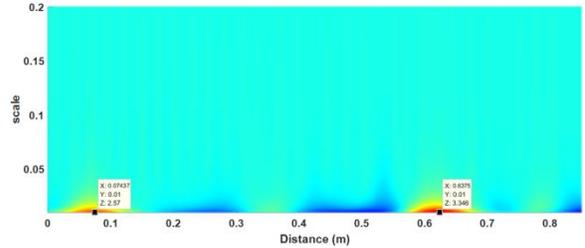
Gambar 14 Wavelet Transform Kondisi Korosi 3

Hasil *wavelet transform* pada kondisi pipa korosi 3 ditunjukkan Gambar 15 (a) dan (b). Gambar 15 (a) *wavelet transform* dengan tampilan sumbu X-Z dengan informasi jarak pipa dan nilai CWT *coefficient*, sedangkan Gambar 15 (b) *wavelet transform* dengan tampilan sumbu X-Y dengan informasi jarak pipa dan skala. Selisih hasil pengujian korosi 3 dengan posisi korosi sesungguhnya adalah 3.75 cm, sehingga *estimation errors* didapatkan 5.00 % dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Estimation Error = \left| \frac{0.6 - 0.63}{0.6} \right| \times 100\% = 5.00\%$$



(a)



(b)

Gambar 15 Wavelet transform Pipa Kondisi Korosi 3
(a) Tampilan Sumbu X-Z (b) Tampilan Sumbu X-Y

4. Simpulan

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

1. Sinyal suara dapat digunakan untuk mendeteksi korosi pengurangan permukaan diameter dalam pada pipa. Alat yang digunakan adalah mikrofon sederhana, *speaker*, *sound card*, dan *PC*.
2. Ketiga pengujian seperti pengujian korosi 1, 2, dan 3 dapat dideteksi posisi mikrofon dan korosi, jika semakin besar tingkat kerusakan maka semakin tinggi nilai puncak gelombang yang ditampilkan dari *wavelet transform* dan domain frekuensi. Contohnya pengujian korosi 1 menunjukkan puncak posisi korosi 1 bernilai 0,9429, pengujian korosi 2 menunjukkan puncak posisi korosi bernilai 1,491, dan pengujian korosi 3 menunjukkan puncak posisi korosi bernilai 3,346.
3. *Estimation error* dari ketiga pengujian untuk menentukan posisi korosi seperti korosi 1, 2, dan 3 menunjukkan masing-masing dibawah dari 10%. Pengujian korosi 1 menunjukan *estimation error* sebesar 5%, pengujian korosi 2 menunjukkan *estimation error* sebesar 1,67%, dan pengujian korosi 3 menunjukkan *estimation error* sebesar 5%.

Daftar Pustaka

- [1] Badral. E. 2004. *Corrosion Detection and Diagnosis in Material Science and Engineering*.
- [2] Huda, Febliil, Kajiwaru, I, Hosoya, N. 2014. 'Vibration test and health monitoring of membrane structure using non-contact laser excitation'. Proceedings of SPIE Smart Structures/NDE 2014, 90640U.
- [2] Papadopoulou, K, Wang, X, Lennox, B, Turner, J, (2008), 'An evaluation of acoustic reflectometry for leakage and blockage detection', *IMechE Part C, Mechanical Engineering Science*, 222 (6), 959-966.
- [3] Zohora, Fatematuz. 2016. *Evaluation of Material Crack Using Acoustic Emission Technique*. Thesis Master. Faculty of Science and Engineering Queensland University of Technology.
- [4] Kaphle, M.R. 2012, *Analysis of acoustic emission data for accurate damage assessment for structural health monitoring applications*.
- [5] Riyanto S, dkk. 2009. *Algoritma Fast Fourier Transform (Fft) Decimation In Time (Dit) Dengan Resolusi 1/10 Hertz*. In : Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- [6] Walker, James. S. 1999, 'A Primer on Wavelets and Their Scientific Applications 1stED, Chapman & Hall/CRC. USA.
- [7] Zhang, Bailing, Haiheng Z, and Shuzi S.G. 2004. *Face Recognition by Apllying Wavelet Subbond Representation and Kernel Associative Harmony*. 'IEEE Transaction of Neural Network, 15(1).
- [8] Foster, D.J., Mosher, C.C. dan Hassanzadeh, S., 1994, *Wavelet Transform Methods for Geophysical Applications*, 64th Annual International Meeting, Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstract, 1465 – 1468.
- [9] Anant, K.S. dan Dowla, F.U., 1997, *Wavelet Transform Methods for Phase Identification in Three-Component Seismograms*, Bulletin of Seismological Society of America, 87(6), 1598 – 1612.