DETEKSI KERUSAKAN PADA STRUKTUR MEMBRAN DENGAN MENGGUNAKAN SINYAL SUARA

Febri Feridianto[1)], Feblil Huda[2)]
[1)]Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, [2)]Dosen Teknik Mesin
Laboratorium Konstruksi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
[1]Febriferidianto@ymail.com, [2]Feblil.huda@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

Structural Health Monitoring (SHM) is a process of identifying damage by Nondestructive Evaluation (NDE). The flexible and lightweight membrane properties cause testing methods that require contact between the sensor and the specimen can not be performed. The method can be done by non-contact method. In this study a non-contact method was proposed to monitor the membrane by utilizing the sound signal as an excitation. This method has the advantage because it is not costly to set-up testing. Recorded data in the form of time domain is transformed into a frequency domain using FFT (Fast Fourier Transform) method. With the domain data frequency response and domain data excitation frequency can be processed into data FRF (Frequency Response Function). FRF in matrix form is used to estimate the mode shape. The first natural frequency of the mode shape is transformed using a 2D-CWT wavelet to detect the location of the damage. The study was performed on membranes under normal and damaged conditions. The research was done by experiment. The results of the research show that the proposed method can detect the location of the damage properly and accurately.

Keywords**:** *SHM, Membrane, Signal Sound, FFT, FRF, Mode Shape*

1. Pendahuluan

Membran adalah struktur permukaan fleksibel tipis yang memikul beban dengan mengalami tegangan tarik (Sukawi, 2011), sehingga membran harus memiliki sifat mekanik dan termal yang baik namun tetap fleksibel dan ringan. Struktur membran telah banyak digunakan dalam beberapa aplikasi *engineering*, seperti penggunaannya pada stadion Tokyo Dome di Jepang, sebagai layar pelindung teleskop luar angkasa dari sinar matahari, dan lain sebagainya. Penelitian mengenai struktur membran telah menjadi topik penelitian yang penting dalam bidang teknik mesin, salah satunya untuk memastikan berfungsinya struktur membran (Huda, dkk, 2014). Salah satu cara untuk memastikan berfungsinya suatu struktur adalah dengan cara *Structural Health Monitoring*.

Structural Health Monitoring (SHM) adalah sebuah proses identifikasi kerusakan dengan cara *Nondestructive Evaluation* (NDE). Beberapa metode SHM yang digunakan untuk menilai kondisi suatu struktur antara lain adalah dengan teknik inspeksi visual, teknik getaran, dan teknik *acoustic emmision* (AE). Namun kebanyakan metode tersebut membutuhkan kontak langsung antara sensor dan material, dimana hal tersebut sulit dilakukan pada struktur-struktur seperti mesin rotasi maupun struktur dengan lingkungan kerja bertemperatur tinggi, karena hal tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada sensor kontak. Oleh karena itu metode non-kontak lebih baik untuk digunakan pada kondisi tersebut (Aurora, dkk, 2014). Begitu juga dengan struktur membran, sifat struktur membran yang fleksibel dan ringan menyebabkan metode kontak antara sensor ataupun akselerometer ke benda kerja tidak dapat dilakukan, sehingga diperlukan metode non-kontak untuk melakukan *monitoring* pada struktur membran. Penelitian mengenai deteksi kerusakan pada struktur membran telah dilakukan oleh Huda, dkk (2014), dengan menggunakan laser sebagai eksitasi dan *Wavelet Transform* 2D-CWT untuk mendeteksi posisi kerusakannya. Namun, metode tersebut membutuhkan biaya yang besar untuk *set-up* pengujiannya.

Berdasarkan uraian masalah diatas maka penelitian ini bertujuan untuk me-*monitoring* struktur membran menggunakan sinyal suara. Dimana suara memiliki Karakteristik fisik berupa Frekuensi, Periode, Amplitudo, dan Panjang gelombang sehingga sinyal suara identik dengan sinyal getaran. Suara dapat menimbulkan terjadinya getaran pada suatu benda dan sebaliknya. Kondisi tersebut dapat dimanfaatkan untuk membuat eksitasi getaran dengan menggunakan suara. Metode ini merupakan kelanjutan dari metode yang telah dilakukan oleh Aurora, dkk (2014). Metode ini memiliki kelebihan karena tidak memerlukan biaya yang besar untuk *set-up* pengujiannya dan menggunakan alat-alat yang umum dijumpai seperti *speaker* dan *microphone*. S*peaker* digunakan untuk memberikan eksitasi pada struktur membran, sedangkan *microphone* untuk mencuplik responnya. Penelitian ini dikaji secara eksperimental, dengan tujuan untuk membuktikan bahwa metode yang digunakan dapat mendeteksi posisi kerusakan pada struktur membran dengan baik.

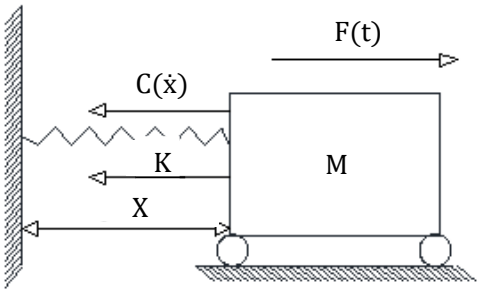
2. Metodologi

Jenis metodologi penelitian yang dilakukan adalah eksperimen yang berupa deteksi kerusakan pada struktur membran dengan menggunakan sinyal suara. Tahapan awal penelitian ini diawali dengan studi literatur mengenai dinamika struktur. Struktur dinamis pada umumnya memiliki karakteristik yang disebut dengan Mode. Mode adalah sifat yang melekat dari struktur, dan ditentukan oleh sifat material (massa, redaman, dan kekakuan), dan kondisi batas struktur. Setiap mode didefinisikan dengan frekuensi pribadi (modal atau resonansi), redaman modal, dan bentuk modus (yaitu yang disebut "parameter modal"). Jika salah satu dari sifat material atau kondisi batas dari struktur berubah maka mode akan berubah (Egy & Khalis, 2014). Analisa mode suatu struktur dapat dilakukan dengan meninjau sistem dinamisnya.

Suatu sistem dinamis seringkali mendapatkan rangsangan gaya luar atau eksitasi, atau dapat disebut sebagai fungsi eksitasi. Eksitasi umumnya *time-independet*, misalnya *harmonic*, *periodic*, *impact*, ataupun *random*. Apabila suatu eksitasi dikenakan pada sistem redaman pegas-massa SDOF seperti pada Gambar 1, maka dapat diturunkan persamaan gerak dengan prinsip hukum kedua Newton, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut (Huda, 2014):

$$M\ddot{x}(\mathrm{t}) + C\dot{x}(\mathrm{t}) + Kx(t) = \mathrm{F(t)} \qquad (1)$$

Dimana M, C, dan K masing-masing adalah matriks massa, redaman, dan kekakuan. F(t) adalah gaya eksitasi yang bekerja pada sistem. Sedangkan $\ddot{x}$, ẋ dan x masing masing adalah percepatan, kecepatan dan perpindahan dari struktur.



Gambar 1 Sistem Redaman Pegas-Massa SDOF (Suwondo, 2016)

Jika persamaan 1 ditransformasikan kedalam bentuk transformasi *laplace*, maka akan menjadi:

$$(\mathrm{Ms^2 + Cs + K})\,\mathrm{X(s)} = \mathrm{F(s)} \qquad (2)$$

Dimana s adalah variabel *laplace*. Sehingga dari persamaan 2 didapat respon dari struktur menjadi

$$\mathrm{X(s)} = \frac{\mathrm{F(s)}}{(\mathrm{Ms^2 + Cs + K})} \qquad (3)$$

Persamaan 3 memberikan hasil sinyal dalam bentuk Domain Waktu, dimana domain waktu memandang getaran sebagai amplitudo terhadap waktu, yang memberikan fenomena getaran secara fisik saja. Oleh karena itu perlu untuk dikonversi kedalam bentuk domain frekuensi agar didapat informasi berapa banyak sinyal terletak didalam setiap pita frekuensi.

Menurut Haque & Uddin, (2011) Salah satu metode untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi adalah metode *Fast Fourier Transform (*FFT), dengan persamaan berikut:

$$\mathrm{X}_{fft}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{X}(t)e^{-i2\pi\omega t}dt \qquad (4)$$

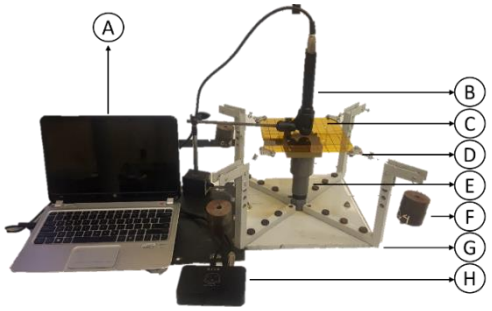
Data sinyal dalam bentuk domain frekuensi digunakan untuk menganalisa *Frequency Response Function* (FRF). FRF merupakan suatu besaran yang menyatakan perbandingan antara sinyal keluaran dan sinyal masukan dalam domain frekuensi. FRF menunjukkan hubungan antara respon getaran yang terjadi dan gaya eksitasi yang bekerja pada sistem tersebut. Pada sistem mekanik FRF menggambarkan kekakuan dinamiknya yang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$H(f) = \frac{X(f)}{Y(f)} \qquad (5)$$

Dimana $H(f)$ adalah respon frekuensi (FRF), $X(f)$ adalah sinyal output sistem dalam domain frekuensi, dan $Y(f)$ adalah sinyal input sistem dalam domain frekuensi. Persamaan 5 dalam bentuk matriks dapat digunakan untuk memperkirakan bentuk mode pada struktur dinamis.

2.1 *Set-up* Pengujian

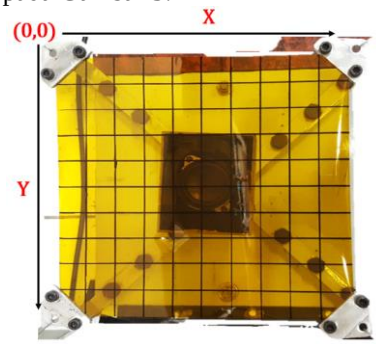
Perangkat *Set-up* pengujian terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu: *base*, *clamp*, massa pemberat, struktur membran, *microphone condenser*, s*peaker*, *soundcard*, dan *personal computer* (PC). Beberapa komponen utama tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Simbol	Keterangan
A	PC
B	*Microphone condenser*
C	Struktur membran
D	*Clamps*
E	*Speaker*
F	Massa pemberat
G	*Base*
H	*Soundcard*

Gambar 2 *Set-up* Pengujian

Base dan tiang penyangga harus cukup kaku sehingga dapat dipastikan tidak ikut bergetar ketika struktur membran diberi eksitasi. Beban pemberat dengan massa 0.7 Kg berfungsi untuk memberikan tarikan pada struktur membran, sehingga membran menjadi cukup kaku. Struktur membran yang digunakan memiliki ketebalan $50\ \mu m$. Dimensi spesimen untuk pengujian sebesar $200\ mm \times 200\ mm$. Spesimen diberi tanda garis dengan interval grid sebesar $20\ mm$ untuk pengujian sehingga didapat perpotongan garis 11×11, seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Membran

2.2 Prosedur Pengujian Kondisi Normal

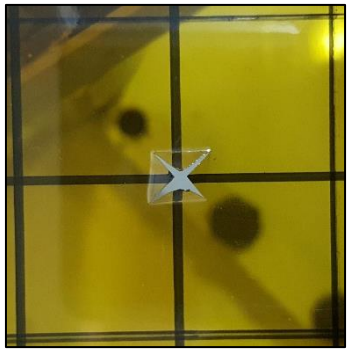
Pengujian kondisi normal adalah pengujian pada struktur membran yang belum diberikan kerusakan/cacat, hal ini dilakukan untuk mendapatkan data referensi kondisi awal pengujian sebelum adanya perubahan pada struktur membran. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan eksitasi berupa sinyal impuls pada titik tengah struktur membran kemudian responnya dicuplik pada setiap perpotongan garis 11×11 yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil pencuplikan selanjutnya diproses dalam beberapa tahap, yaitu:

a. Data domain waktu ditransformasikan menjadi data domain frekuensi menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT).
b. Data domain frekuensi tersebut selanjutnya diproses hingga didapat data *frequency response function* (FRF) dengan menggunakan Persamaan 5.
c. FRF digunakan untuk analisa modus getar dari struktur membran, dengan menyusun matriks pada frekuensi pribadinya.
d. Modus getar yang telah terbentuk diinterpolasi untuk mendapatkan data yang lebih banyak.
e. Modus getar yang telah diinterpolasi selanjutnya ditransformasikan kedalam bentuk *wavelet* 2D-CWT, untuk melihat posisi kerusakannya.

Pada penelitian ini modus getar yang diamati hanya pada modus getar pertama, karena lebih mudah diamati perubahan yang terjadi pada struktur. Skala yang digunakan untuk *wavelet* 2D-CWT adalah skala 3, namun apabila posisi kerusakan masih belum terdeteksi dengan baik, skala dapat ditingkatkan sampai pada skala 8.

2.3 Prosedur Pengujian dengan 1 Kerusakan

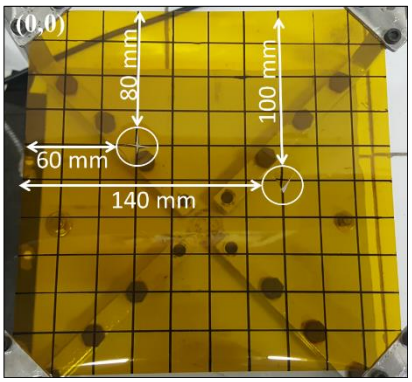
Pengujian dengan 1 bentuk kerusakan dilakukan untuk membuktikan metode yang digunakan dapat mendeteksi posisi kerusakan pada membran. Prosedur pengujian yang dilakukan sama dengan pengujian pada kondisi normal, namun dengan membran yang telah diberi 1 kerusakan. Dalam industri kerusakan pada material seperti membran tidak dapat ditentukan secara pasti bentuknya, karena tergantung penyebab kerusakannya. Namun, pada umumnya kerusakan tersebut berupa sobekan/*tear*. Oleh sebab itu bentuk cacat pada pengujian ini berbentuk *X-tear* yang dapat dilihat pada Gambar 4. Posisi kerusakan terletak pada koordinat (60,80).



Gambar 4 Bentuk *X-tear*

2.4 Prosedur Pengujian dengan 2 Kerusakan

Pengujian dengan 2 bentuk kerusakan dilakukan untuk membuktikan bahwasanya metode yang digunakan dapat digunakan untuk beberapa bentuk kerusakan. Prosedur yang dilakukan sama dengan pengujian sebelumnya. Bentuk kerusakan yang digunakan adalah bentuk kerusakan *X-tear* dan *V-tear* yang dapat dilihat pada Gambar 5.



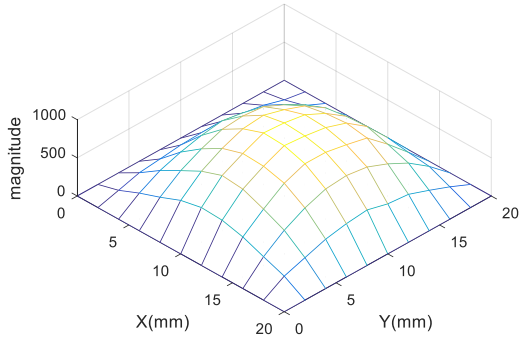
Gambar 5 Bentuk kerusakan *X-tear* & *V-tear*

3. Hasil dan Pembahasan

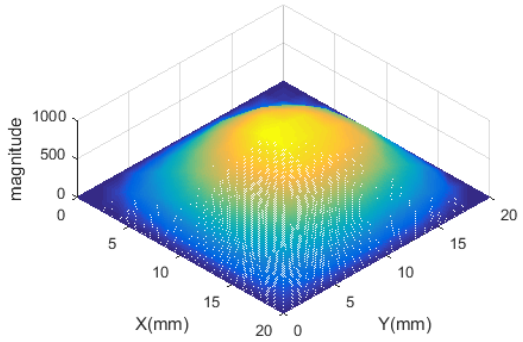
3.1 Pengujian Kondisi Normal

Hasil pengujian pada kondisi normal dapat dilihat pada Gambar 6. Gambar 6(a) merupakan modus getar pertama yang terjadi pada frekuensi 45 Hz. Gambar 6(b) menampilkan modus getar pertama yang diinterpolasi secara linear untuk mendapatkan data yang lebih banyak agar terbentuk struktur membran yang lebih rapat, kemudian hasilnya

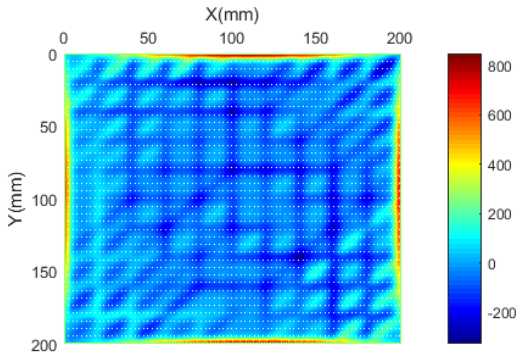
ditransformasikan dengan *wavelet* 2D-CWT dengan skala 3 seperti yang ditampilkan pada Gambar 6(c).



(a)



(b)



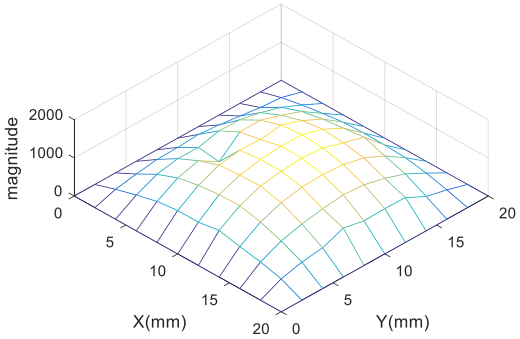
(c)

Gambar 6 Hasil pengujian kondisi normal (a) modus getar pertama, (b) setelah interpolasi, (c) transformasi *wavelet*

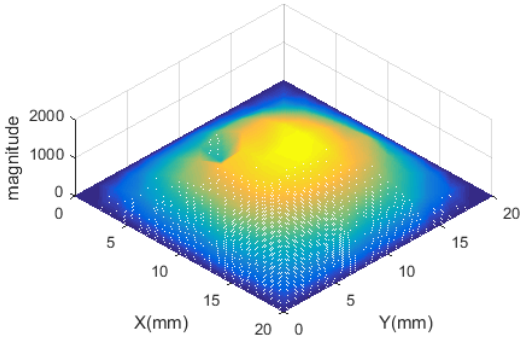
Hasil transformasi *wavelet* mengindikasikan keadaan struktur membran dalam keadaan normal atau tidak ada kerusakan, terlihat dengan tidak adanya energi koefisien *wavelet* yang dominan pada area permukaan struktur membran, kecuali pada area tepi struktur membran. Dimana sensor menganggap tepi struktur adalah bagian yang rusak/cacat.

3.2 Pengujian dengan 1 Bentuk Kerusakan

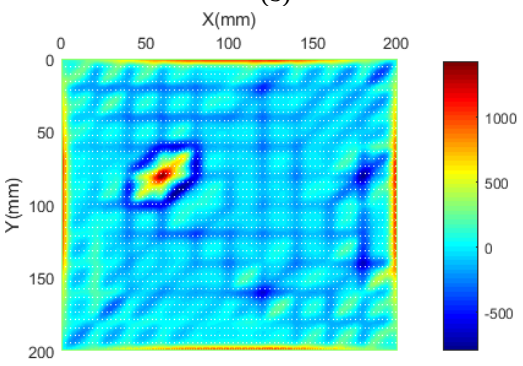
Hasil pengujian dengan 1 bentuk kerusakan *X-tear* dapat dilihat pada Gambar 7. Modus getar pertama terjadi pada frekuensi 45Hz yang ditampilkan pada Gambar 7(a), kemudian diinterpolasi untuk mendapatkan data yang lebih rapat dan ditampilkan pada Gambar 7(b), hasil interpolasi modus pertama ditransformasikan dengan *wavelet* 2D-CWT skala 3 sehingga hasilnya seperti pada Gambar 7(c).



(a)



(b)



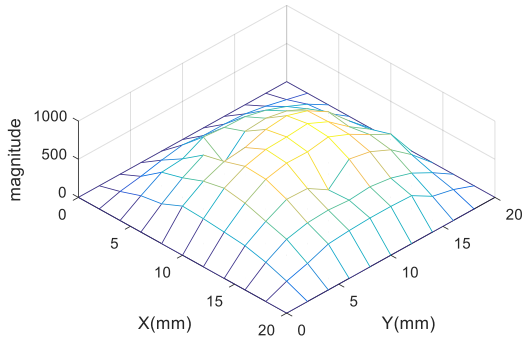
(c)

Gambar 7 Hasil pengujian dengan 1 bentuk kerusakan (a) modus getar pertama, (b) setelah interpolasi, (c) transformasi *wavelet*

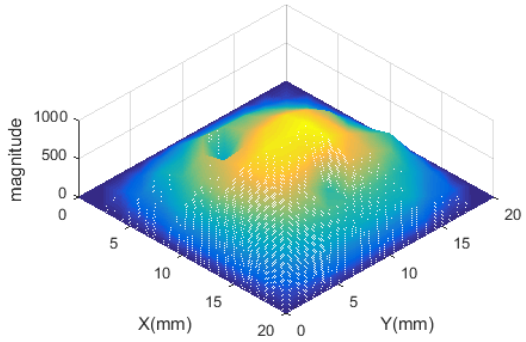
Hasil transformasi *wavelet* menunjukan adanya nilai energi koefisien maksimum yang dominan pada satu area, nilai maksimum ini mengindikasikan posisi kerusakan itu berada. Nilai koefisien maksimum pada transformasi *wavelet* terletak pada koordinat (60,80) dimana koordinat itu sesuai dengan posisi kerusakan yang telah ditentukan. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka metode yang digunakan dapat mendeteksi posisi kerusakan dengan baik dan benar. Selanjutnya di terapkan 2 bentuk kerusakan untuk mendeteksi posisi kerusakannya.

3.3 Pengujian dengan 2 Bentuk Kerusakan

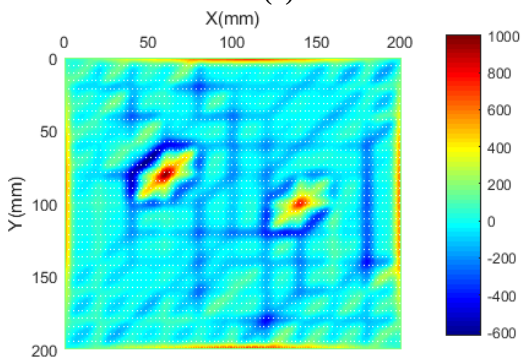
Hasil pengujian dengan 2 bentuk kerusakan *X-tear* dan *V-tear* dapat dilihat pada Gambar 8. Modus getar pertama terjadi pada frekuensi 45Hz ditampilkan pada Gambar 8(a), kemudian diinterpolasi untuk mendapatkan data yang lebih banyak yang ditampilkan pada Gambar 8(b), dan ditransformasikan dalam bentuk *wavelet* 2D-CWT seperti pada Gambar 8(c).



(a)



(b)



(c)

Gambar 8 Hasil pengujian dengan 2 bentuk kerusakan (a) modus getar pertama, (b) setelah interpolasi, (c) transformasi *wavelet*

Hasil transformasi *wavelet* menunjukan indikasi kerusakan, terlihat adanya dominan nilai puncak koefisien *wavelet* pada 2 posisi yang berbeda, posisi tersebut sesuai dengan posisi yang telah tentukan. Sehingga metode dapat mendeteksi posisi kerusakan dengan baik dan akurat. Namun, tidak ada karakteristik yang mengindikasikan perbedaan bentuk kerusakan *X-tear* dan *V-tear*.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sinyal suara yang diberikan pada struktur membran pada kondisi normal dan kondisi mengalami kerusakan memiliki perbedaan, yaitu respon sinyal suara pada bagian struktur yang rusak akan menurun.
2. Respon sinyal suara pada struktur membran dapat digunakan untuk memonitoring struktur dengan cara mentransformasikan kedalam bentuk domain frekuensi dan menganalisanya dengan transformasi *wavelet* 2D-CWT.
3. Modus getar pertama pengujian kondisi normal terjadi pada frekurnsi 45 Hz, dan tidak terjadi perubahan ketika diberikan kerusakan pada membran.
4. Metode yang digunakan tidak dapat menunjukan karakteristik perbedaan bentuk kerusakan *X-tear* dan *V-tear* pada struktur membran.

Daftar Pustaka

Aurora V, Wijnant YH, de Boer A. 2014. *Acoustic-based damage detection method*. Applied Acoustics. 80: 23–27.

Haque, Mohammad Nazmul dan Uddin, Mohammad Shorif. 2011. *Acclerarating Fast Fourier Trasnsformation for Image Processing Using Graphics Processing Unit.* CIS Journal. ISSN 2079-8407

Huda, Feblil. 2014. *Structural Health Monitoring By Vibration Measurement With Non-Contact Laser Excitation*. Hokkaido University, Japan.

Huda, Feblil, Kajiwara, Itsuro, dan Hasoya, Naoki. 2014. *Damage detection in membrane structures using non-contact laser excitation and wavelet transformation*. Journal of Sound and Vibration. 333: 3609–3624.

Purnama, Egy dan Dwi Khalis H. 2014. Gelombang dan Fenomena Akustik serta Pemilihan Alat Akustik Terhadap Karakteristik Objek Target. Universitas Padjadjaran dan Universitas Hasanudi.

Sukawi. 2011. Struktur Membran Dalam Bangunan Bentang Lebar. Universitas Diponegoro. Semarang.

Suwondo,Allisa P, Setyo, Yoyok H, dan Sholihin. 2016. Deteksi Kerusakan Pada Struktur Jembatan *Truss* Dengan Metode *Curvature Mode Shape*: Simulasi Pada Jembatan Antar *Platform*. Universitas Teknologi Surabaya.