

## **Pengaruh Ketidakteraturan Domain pada Normal Mode dan Frekwensi Natural Pada Getaran Membran**

Defrianto<sup>(1)</sup>, Walfred Tambunan, Maksi Ginting

*Prodi S1 Fisika*

*Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau*

*Kampus Bina Widya, Jl. Prof. Dr. Muchtar Luthfi*

*Pekanbaru 28293*

<sup>1</sup>*Email :defrianto@unri.ac.id*

### **ABSTRACT**

A research has been done in order to find Natural Frequency dan Normal Mode for membrane vibration width  $48 \text{ m}^2$  at regular shape 4 sides, irregular shape 8 and 10 sides. Natural Frequency at fundamental mode for membrane 4, 8 and 10 sides each of which 1.7129, 1.7503 dan 1.7973 Hz. Natural Frequency at the same mode pointed that more irregularities produce higher natural frequency. Normal Mode at each mode for 4, 8 and 10 sides membrane gives the similar form.

### **ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian untuk menentukan frakwensi natural dan normal mode getaran membrane dengan luas  $48 \text{ m}^2$  berbentuk teratur 4 sisi, tidak teratur 8 dan 10 sisi. Frekwensi fundamental pada normal mode pertama untuk membrane 4, 8 dan 10 sisi berturut-turut yaitu 1.7129, 1.7503 dan 1.7973 Hz. Frekwensi natural untuk mode yang sama menunjukkan semakin tidak teratur membrane akan memberikan frekwensi natural yang semakin tinggi. Normal mode untuk setiap mode pada membrane 4, 8 dan 10 sisi memberikan bentuk yang hampir sama.

**Kata Kunci :** Frekwensi natural, Normal Mode, Bentuk tidak teratur.

## PENDAHULUAN

Pada saat zaman modern ini, berbagai peralatan, kendaraan dan bangunan dibuat untuk mendukung peradaban umat manusia. Berbagai perangkat yang dibuat tersebut digerakkan oleh mesin-mesin yang beroperasi menggunakan energi listrik, gas maupun bahan bakar minyak. Efisiensi mesin-mesin tidaklah 100% tapi sebagian energinya terbuang dalam bentuk panas, gelombang elektromagnetik, bunyi dan getaran mekanik. Sebagai energi yang terbuang, getaran mekanik terutama timbul pada bagian perangkat berbentuk lempengan atau lembaran, untuk meminimalisasinya maka perlu dianalisa bagaimana getaran timbul dan variabel fisis apa saja yang terlibat dalam proses tersebut. Getaran mekanis timbul jika ada sumber getaran. Sumber getaran yang berasal dari mesin biasanya berbentuk usikan berulang yang terjadi dalam suatu frekwensi atau kombinasi frekwensi tertentu. Jika frekwensi usikan sama dengan frekwensi natural dari perangkat yang berupa lempengan atau lembaran maka akan terbentuk getaran maksimum. Memahami frekwensi natural dari suatu sistem sangat penting agar dapat meminimalisasi terjadinya getaran mekanis.

Frekwensi natural serta normal mode suatu sistem dapat diketahui secara teoritis dengan menyelesaikan persamaan Helmholtz. Untuk domain sederhana, persamaan Helmholtz diselesaikan secara teoritis, namun untuk domain kompleks persamaan tersebut hanya dapat diselesaikan secara komputasi.

Pada penelitian ini akan diselesaikan persamaan Helmholtz untuk menentukan Frekwensi Natural dan Normal Mode pada domain kompleks berbentuk tidak teratur, dengan menggunakan Metode Elemen Hingga. Selanjutnya akan dianalisa pengaruh ketidak teraturan domain pada Frekwensi Natural dan Normal Mode suatu sistem.

## TEORI

Peristiwa getaran dan gelombang mekanik 2 dimensi dapat dimodelkan secara matematis melalui persamaan differensial parsial berupa *Persamaan Gelombang*.

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = \frac{\rho}{T} \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} \quad (1.1)$$

dimana

$$c^2 = \frac{T}{\rho} \quad (1.2)$$

T = Tegangan membrane

$\rho$  = Massa jenis

Jika getaran berbentuk sinusoidal terhadap waktu, yaitu :

$$z(x, y, t) = z(x, y) \sin(\omega t) \quad (1.3)$$

maka persamaan diatas menjadi *Persamaan Helmholtz*

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} + k^2 z = 0 \quad (1.4)$$

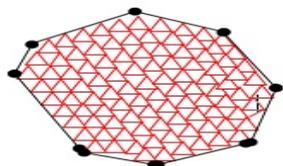
atau

$$\nabla^2 z + k^2 z = 0 \quad (1.5)$$

dimana

$$k = \frac{\omega}{c} \quad (1.6)$$

Untuk membrane tidak teratur, persamaan (1.5) diselesaikan secara komputasi dengan menggunakan metode Elemen Hingga, dimana pada domain dibagi-bagi menjadi elemen-elemen sederhana seperti tampak pada Gambar 1.1 berikut :



**Gambar 1.** Membran dibagi dalam bentuk jaringan segitiga.

Pada Metode Elemen Hingga untuk menyelesaikan Persamaan Helmholtz dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Diskritisasi dan memilih konfigurasi elemen. Langkah ini menyangkut pembagian domain menjadi sejumlah elemen sederhana yang sesuai yang disebut elemen – elemen

hingga. Perpotongan antara sisi – sisi elemen dinamakan simpul atau titik simpul, dan antara elemen – elemen disebut garis simpul.

2. Memilih model atau fungsi pendekatan. Pada setiap elemen dipilih fungsi pendekatan dengan memasukkan nilai solusi pada setiap simpul
3. Menurunkan Persamaan Elemen. Memasukkan fungsi pendekatan ke dalam persamaan Helmholtz untuk setiap elemen maka diperoleh persamaan elemen.
4. Perakitan Persamaan Global dan memasukkan syarat Batas. Titik simpul elemen diubah menjadi titik simpul global sehingga persamaan elemen menjadi persamaan global.
5. Memecahkan Persamaan Global. Persamaan global diselesaikan untuk mendapatkan *nilai eigen* atau frekwensi natural dan normal mode getaran membran.
6. Interpretasi hasil. Untuk setiap frekwensi natural dibuat grafik normal mode getaran membran.

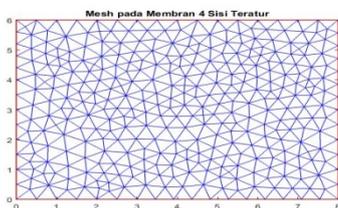
## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan membuat model getaran membran berupa penyelesaian Persamaan Helmholtz

dengan menggunakan metode elemen hingga. Frekwensi Natural dan Normal Mode ditentukan dengan memasukkan syarat batas simpangan sama dengan nol pada batas membran.

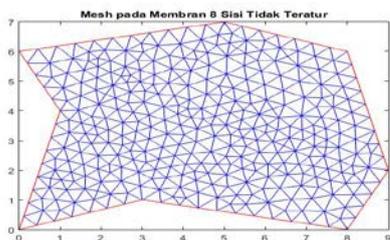
Pada penelitian ini ditentukan frekwensi natural dan normal mode untuk 3 bentuk membran dengan luas masing-masing membrane 48 m<sup>2</sup>, dan kecepatan gelombang  $v=25$  m/s. Pengujian dilakukan mulai pada membran teratur 4 sisi, tidak teratur 8 sisi sampai membrane yang tidak teratur 10 sisi yaitu :

1. Membran 4 sisi dengan luas 48 m<sup>2</sup>. Membran dengan 4 sisi dibagi menjadi elemen-elemen seperti Gambar 2.



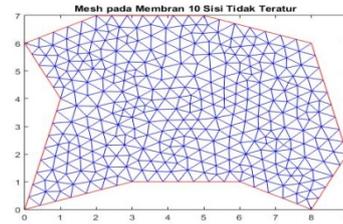
**Gambar 2.** Membran teratur 4 sisi.

1. Membran 8 sisi dengan luas 48 m<sup>2</sup>. Membran dengan 8 sisi dibagi menjadi elemen-elemen seperti Gambar 3.



**Gambar 3.** Membran tidak teratur 8 sisi.

2. Membran 10 sisi dengan luas 48 m<sup>2</sup>. Membran dengan 10 sisi dibagi menjadi elemen-elemen seperti Gambar 4.



**Gambar 4.** Membran tidak teratur 10 sisi.

Penelitian dilakukan dengan tahapan seperti Diagram Alir pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Diagram alir tahapan penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian untuk membrane 4, 8 dan 10 sisi memberikan frekwensi natural seperti yang terlihat pada table 1. Frekwensi natural masing-masing membran diambil samapi 10 mode.

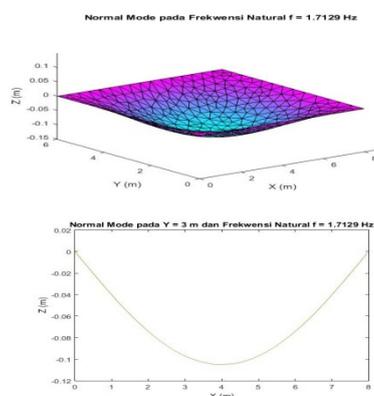
**Tabel 1.** Frekwensi Natural untuk membran 4, 8 dan 10 sisi

No	F <sub>4</sub> (Hz)	F <sub>8</sub> (Hz)	F <sub>10</sub> (Hz)
1	1.7129	1.7503	1.7973
2	3.5826	3.7330	3.7541
3	5.0480	5.0249	5.1773
4	6.7410	6.8532	6.6702
5	6.9567	7.3832	7.5666
6	10.1776	9.7661	9.7705
7	10.7306	10.9411	10.9682
8	11.2570	11.9637	12.1563
9	12.7133	12.8860	12.9974
10	14.7871	15.1635	15.8081

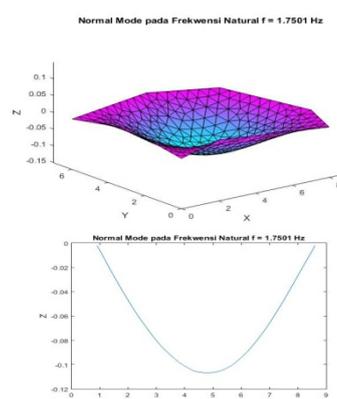
Pada table terlihat bahwa Frekwensi fundamental pada normal mode pertama untuk membrane 4, 8 dan 10 sisi berturut-turut yaitu 1.7129, 1.7503 dan 1.7973 Hz. Hasil ini menunjukkan adanya peningkatan frekwensi natural untuk normal mode pertama mulai dari membrane teratur (4 sisi) sampai yang paling tidak teratur (10 sisi).

Pada mode yang lebih tinggi, mode 2 samapai 10, juga menunjukkan adanya peningkatan frekwensi natural mulai dari membran teratur 4 sisi, tidak teratur 8 sisi sampai tidak teratur 10 sisi. Dari table terlihat peningkatan terjadi secara konsisten jika membrane semakin tidak teratur. Normal mode pertama untuk membrane 4, 8 dan 10 sisi dapat dilihat

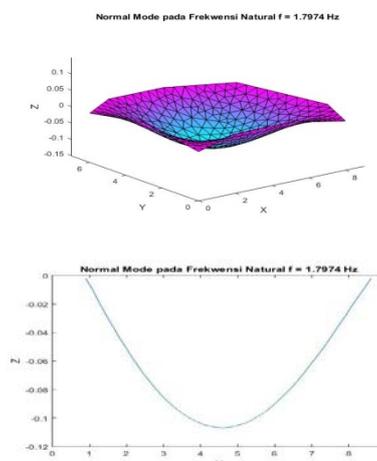
pada gambar 6, 7 dan 8, gelombang pada ke tiga membrane ini berbentuk sama yaitu terdiri dari 1 lembah namun dengan frekwensi natural yang berbeda.



**Gambar 6.** Normal Mode pertama pada membran 4 sisi.



**Gambar 7.** Normal Mode pertama pada membran 8 sisi.



**Gambar 8.** Normal Mode pertama pada membran 10 sisi.

## KESIMPULAN

1. Telah dilakukan penelitian untuk menentukan frekwensi natural dan normal mode getaran membrane dengan luas  $48 \text{ m}^2$  berbentuk teratur 4 sisi, tidak teratur 8 dan 10 sisi. Frekwensi fundamental pada normal mode pertama untuk membrane 4, 8 dan 10 sisi berturut-turut yaitu 1.7129, 1.7503 dan 1.7973 Hz.
2. Frekwensi natural untuk mode yang sama menunjukkan semakin tidak teratur membrane akan memberikan frekwensi natural yang semakin tinggi.
3. Normal mode untuk setiap mode pada membrane 4, 8 dan 10 sisi memberikan bentuk yang hamper sama.

and out-of-plane vibrations for an axially moving membrane, *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 297 : 794-809.

- [4] Kukathasan, S. Dan Pellegrino, S.. Nonlinear vibration of wrinkled membranes. *University of Cambridge, Cambridge, CB2 1PZ, UK 44th, AIAA*.
- [5] Cook, R. D. 1998. *Konsep dan aplikasi metode elemen hingga*. Bandung : Refika Aditama

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gamzi, A. dan Benamar, R.. 2016. Non-linear vibration of a rectangular membrane subjected to axial tensions and shear stress resultant force, applied to the membrane's four edges. *ECCOMAS Congress 2016*.
- [2] Ferrela, J.L. dan Medeiros, L.A.. 2001 .Vibrations of elastic membranes with moving boundaries, *Nonlinear Analysis*. Vol. 45 : 363 – 382.
- [3] Shin, C. Dan Yoo, H.H.. 2006 . Dynamic responses of the in-plane