

ANALISIS MODE GETAR PELAT SEGI EMPAT SECARA ANALITIK DAN EKSPERIMEN

THE ANALYTICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF RECTANGULAR PLATES VIBRATION MODES

Oleh: Iin Dwi Lestari, Universitas Negeri Yogyakarta
iindwi44@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis mode getar yang muncul pada pelat aluminium segi empat dengan kondisi batas dijepit (*clamped/fixed boundaries*) yang bergetar pada frekuensi tertentu. Metode penelitian yang digunakan adalah metode analitik dan eksperimen. Mode getar pelat akan muncul ketika frekuensi alami pelat beresonansi dengan frekuensi getaran sumber. Mode getar pelat yang muncul pada eksperimen, selanjutnya dibandingkan hasilnya dengan simulasi mode getar pelat secara analitik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa frekuensi resonansi dapat memunculkan mode getar pada pelat. Mode getar pelat aluminium segi empat hasil analisis secara teori menghasilkan pola-pola yang memiliki kecenderungan sama atau mendekati pola mode getar pelat secara eksperimen pada nilai frekuensi tertentu.

Kata kunci: mode getar, pelat segi empat, frekuensi resonansi.

Abstract

This research aimed to analyze modes of vibration occurring in rectangular aluminium plate in clamped/fixed boundaries condition at certain frequencies. The research methods applied were analytic and experimental methods. The modes of vibration of plate would occur when natural frequency of plate resonated with the vibration frequency of the source. The modes of vibration occurring in the experiment were then compared with the simulation of plate vibration mode found analytically. The result of the research showed that resonance frequency could generate modes of vibration on plate. The mode of vibration of rectangular aluminum plate as a result of the theoretical analysis had the same trend or close to the mode of vibration found experimentally at certain frequencies.

Key words: modes of vibration, rectangular plate, resonance frequency.

PENDAHULUAN

Pengetahuan dan pemanfaatan getaran baru-baru ini mengalami perkembangan yang sangat pesat. Hal ini ditunjukkan dengan banyaknya penelitian dan pengkajian ilmu getaran yang diaplikasikan dalam bidang rekayasa teknologi. Di satu sisi, getaran sangat bermanfaat untuk aplikasi rekayasa teknologi, namun di sisi lain, ada banyak kasus kerusakan sebagai efek dari getaran yang berlebihan, misalnya pada struktur teknik. Getaran pada mesin yang terjadi terus-menerus dalam kurun waktu yang lama, dapat menimbulkan kerusakan pada struktur mesin.

Oleh karena itu dengan meninjau contoh permasalahan tersebut, salah satu tujuan penting dari studi getaran dalam kasus ini adalah untuk mengurangi efek merugikan dari getaran melalui studi karakteristik getaran suatu sistem. Karakteristik getaran struktur bahan yang sangat penting untuk dikaji salah satunya adalah getaran pada pelat tipis. Getaran pada pelat tipis menjadi permasalahan yang cukup serius dan perlu dikaji mengingat banyak bidang ilmu dalam kehidupan sehari-hari, khususnya di bidang teknik dan industri yang membutuhkan perancangan struktur menggunakan pelat (bidang teknik penerbangan, teknik sipil, industri kereta api, dan mekanik).

Analisis getaran pelat pada suatu struktur bahan dengan bentuk, kondisi batas, dan sifat material yang bervariasi akan membutuhkan metode yang bervariasi pula dalam penyelesaiannya. Berbagai metode seperti metode analitik maupun numerik dapat digunakan untuk mengetahui mode getar suatu struktur bahan pelat sehingga karakteristik getaran dan sifat dinamis dari suatu bahan dapat diidentifikasi.

Analisis mode adalah studi tentang karakter dinamis suatu sistem yang didefinisikan secara independen dari beban yang diterapkan pada sistem dan respon sistem. Masing-masing mode suatu sistem memiliki frekuensi tertentu, dengan redaman tertentu, dan karakteristik deformasi tertentu yang akan mengalami eksitasi pada frekuensi alaminya. Deformasi ini terkait dengan karakteristik bentuk mode untuk mode tertentu (Avitabile, 2018: 3).

Eksperimen analisis mode dalam penelitian ini diaplikasikan secara sederhana dalam bentuk mode getar pelat sederhana. Struktur pelat sederhana yang diberi masukan berupa getaran dengan nilai amplitudo dan frekuensi bervariasi akan menghasilkan respon (keluaran) tinggi ketika frekuensi osilasinya semakin dekat dengan frekuensi alami (atau frekuensi resonansi) sistem dan mencapai maksimum bila frekuensi osilasi berada pada frekuensi resonansi sistem.

Teori analisis pelat tipis yang terkenal dan banyak dikembangkan adalah teori pelat Kirchhoff (teori pelat klasik). Menurut Kirchhoff, asumsi dalam teori analisis pelat tipis dibuat dengan mempertimbangkan bidang *mid-surface* yang membantu mewakili pelat dimensi tiga

dalam bentuk dimensi dua (Balasubramanian, 2011: 6).

Menurut Chakraverty (2009: 83), teori pelat klasik atau teori pelat Kirchhoff didasarkan pada asumsi berikut:

- Tebal pelat jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan dimensi lainnya.
- Tegangan normal pada arah melintang pada pelat dianggap sangat kecil sehingga dapat diabaikan.
- Efek inersia rotasi diabaikan.
- Komponen perpindahan pada permukaan *mid-surface* lebih kecil dibandingkan dengan ketebalan pelat.
- Bidang pelat pada bagian *mid-surface* tidak mengalami deformasi. Dengan demikian, *mid-surface* tetap dalam kondisi netral baik sebelum maupun setelah deformasi.

Berdasarkan teori pelat klasik, perlu dicatat bahwa analisis persamaan pelat yang dirumuskan adalah masih berupa pendekatan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari-Maret 2018 di Laboratorium Getaran dan Gelombang, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah berupa frekuensi masukan dari *Audio Function Generator (AFG)*. Pola-pola mode getar yang terbentuk pada pelat aluminium segi empat

ketika dikenai getaran berfungsi sebagai variabel terikat. Selanjutnya bahan, bentuk, dan kondisi batas pelat yang digunakan, posisi *loudspeaker*, dan amplitudo masukan dari AFG sebagai variabel terkontrol.

Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian untuk mengumpulkan data secara eksperimen berupa serangkaian *sound system* sederhana yang terdiri dari AFG sebagai pembangkit gelombang listrik sinusoidal, *amplifier* sebagai penguat sinyal masukan dari AFG, *loudspeaker* untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal suara, dan osiloskop untuk mengukur frekuensi dan menampilkan gelombang sinusoidal. Serangkaian *sound system* sederhana ini selanjutnya digunakan sebagai sumber getar pada bidang pelat aluminium segi empat (persegi panjang dan bujur sangkar) dengan kondisi batas *clamped* sehingga menghasilkan pola-pola mode getar pada bidang pelat ketika diberikan getaran dengan frekuensi tertentu.

Teknik Pengumpulan Data

Analisis mode getar pelat segi empat secara eksperimen, dilakukan dengan mengambil sampel pada pelat berbentuk persegi panjang berukuran 35 cm x 25 cm x 0,0419 cm dan bujur sangkar berukuran 25 cm x 25 cm x 0,0419 cm pada kondisi batas pelat dijepit (*clamped*). Untuk menentukan pola mode getar, baik pada pelat persegi panjang maupun bujur sangkar, diperlukan sumber getar untuk menggetarkan pelat dengan frekuensi tertentu sehingga dihasilkan pola mode getar yang sesuai dengan

frekuensi alaminya. Mode getar pelat persegi panjang dan bujur sangkar akan terbentuk pada nilai-nilai frekuensi tertentu yang selanjutnya didokumentasikan untuk kemudian dibandingkan dengan pola mode getar hasil analisis secara teori.

Teknik Analisis Data

Untuk menganalisis pola mode getar pelat secara teori dalam penelitian ini adalah menggunakan persamaan differensial parsial orde empat yang dinyatakan dalam bentuk persamaan umum getaran pelat sebagai berikut

$$D\nabla^4 w(x, y, t) + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

Persamaan di atas selanjutnya diselesaikan menggunakan metode separasi variabel sehingga diperoleh solusi akhir sebagai fungsi untuk menentukan pola mode getar pada pelat. Simulasi pola mode getar pelat hasil *plotting* grafik dari fungsi yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan pola mode getar pelat secara eksperimen.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

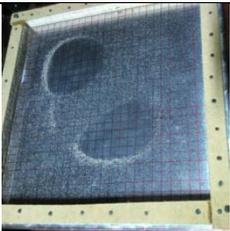
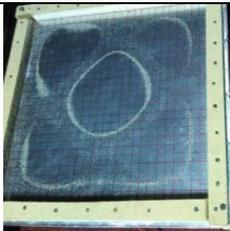
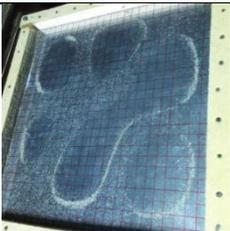
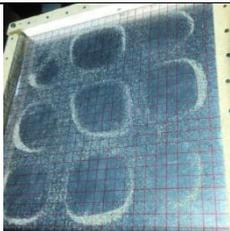
Hasil penelitian secara eksperimen menunjukkan bahwa pola mode getar pada pelat terbentuk pada frekuensi tertentu yang sesuai dengan nilai frekuensi alami dari pelat. Berdasarkan data hasil eksperimen, diperoleh pola-pola mode getar pelat persegi panjang dan bujur sangkar sebagai berikut.

Tabel 1. Pola Mode Getar Pelat Persegi Panjang

Pola Mode Getar	
 $f=92,6 \text{ Hz}$	 $f=142,8 \text{ Hz}$
 $f=121,9 \text{ Hz}$	 $f=161,3 \text{ Hz}$

Selanjutnya, untuk pola mode getar pelat bujur sangkar dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Pola Mode Getar Pelat Bujur Sangkar

Pola Mode Getar	
 $f=128 \text{ Hz}$	 $f=217 \text{ Hz}$
 $f=263 \text{ Hz}$	 $f=344 \text{ Hz}$

Berdasarkan hasil eksperimen pola mode getar di atas, pelat yang dikenai getaran dari luar mengakibatkan adanya resonansi pada pelat sehingga pelat ikut bergetar pada suatu nilai frekuensi tertentu yang nilainya sama dengan frekuensi alami dari pelat tersebut. Pada kasus gelombang stasioner dimensi dua yang dalam penelitian ini ditunjukkan pada getaran pelat,

bentuk simpul dan perut dari gelombang stasioner yang dihasilkan, digambarkan oleh pola pasir yang didistribusikan menyebar di atas permukaan pelat. Kondisi permukaan dimana pasir menumpuk menggambarkan letak *nodes* atau simpul, sedangkan permukaan yang tidak terdapat pasir di atasnya menunjukkan letak simpangan maksimum atau perut gelombang. Pola getaran akibat terjadinya *standing wave* pada kasus penelitian ini hanya terjadi di dalam medium pada frekuensi getaran tertentu. Frekuensi ini dikenal sebagai frekuensi harmonik sistem atau frekuensi alami.

Selanjutnya, berdasarkan hasil analisis pola mode getar pelat secara analitik, simulasi pola mode getar pelat diperoleh dari hasil *plotting* grafik fungsi posisi sebagai solusi akhir dari persamaan umum getaran pelat, yang dituliskan sebagai berikut

$$W_{mn}(x, y) = P_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (2)$$

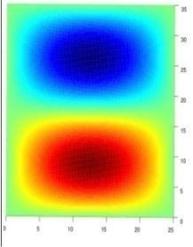
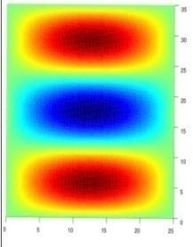
Dimana bilangan bulat m dan n merupakan simbol garis nodal (*nodal lines*) yang terletak pada masing-masing arah x dan y .

Plotting grafik fungsi $W_{mn}(x, y)$ akan menghasilkan pola-pola mode getar pelat seperti yang dihasilkan pada metode eksperimen, dengan nilai frekuensi alami pelat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut

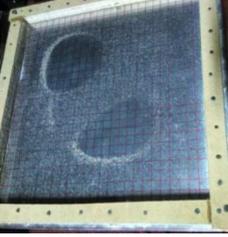
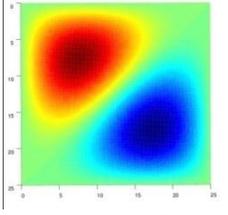
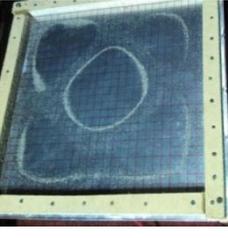
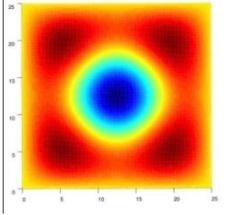
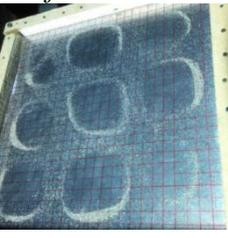
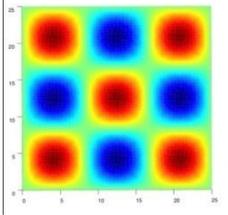
$$\omega_{mn} = \pi^2 \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + \left(\frac{n}{b} \right)^2 \right] \sqrt{\frac{D}{\rho h}} \quad (3)$$

Simulasi pola mode getar pelat hasil analisis secara teori kemudian dibandingkan dengan pola mode getar hasil eksperimen. Perbandingan dari keduanya dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut ini.

Tabel 3. Perbandingan Pola Mode Getar Pelat Persegi Panjang

$f= 92,6 \text{ Hz}$ 	$f= 60,75 \text{ Hz}$  $(m,n=1,2)$
$f=142,8 \text{ Hz}$ 	$f= 111,72 \text{ Hz}$  $(m,n=1,3)$

Tabel 4. Perbandingan Pola Mode Getar Pelat Bujur Sangkar

$f= 128 \text{ Hz}$ 	$f= 99,90 \text{ Hz}$  $m,n= 1,2$
$f= 217 \text{ Hz}$ 	$f= 199,80 \text{ Hz}$  $m,n= 1,3$
$f= 344 \text{ Hz}$ 	$f= 359,63 \text{ Hz}$  $m,n= 3,3$

Berdasarkan hasil perbandingan, dapat dilihat bahwa pola mode getar hasil analisis memiliki kecenderungan sama atau mendekati pola hasil eksperimen. Namun, frekuensi alami pelat hasil analisis mempunyai nilai yang sedikit berbeda dengan frekuensi hasil eksperimen. Hal ini disebabkan karena penentuan frekuensi alami secara teori masih mengacu pada konstanta-konstanta yang diasumsikan secara umum.

Perbandingan lebih lanjut nilai frekuensi mode getar pada pelat persegi panjang dan bujur sangkar secara analitik dan eksperimen dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut ini.

Tabel 5. Perbandingan Frekuensi Mode Getar Pelat Persegi Panjang

Mode	m,n	PERSEGI PANJANG			
		Frekuensi (Hz)			
		Eksp.	Teori	Faktor pengali	Selisih
1	1,1	52.63	30.17	1.74	22.46
2	1,2	92.60	60.75	1.52	31.85
3	2,2	121.90	120.69	1.01	1.21
4	1,3	142.80	111.72	1.28	31.08
5	3,1	161.30	190.01	0.85	28.71
6	2,4	263.20	243.02	1.08	20.18
7	4,1	312.50	329.87	0.95	17.37
8	3,5	416.70	434.66	0.96	17.96

Tabel 6. Perbandingan Frekuensi Mode Getar Pelat Bujur Sangkar

Mode	m,n	BUJUR SANGKAR			
		Frekuensi (Hz)			
		Eksp.	Teori	Faktor pengali	Selisih
1	1,1	32.00	39.96	0.80	7.960
2	1,2	128.00	99.90	1.28	28.100
3	1,3	217.00	199.80	1.09	17.200
4	2,3	263.00	259.73	1.01	3.270
5	3,3	344.00	359.63	0.96	15.630
6	1,5	488.00	519.47	0.94	31.470
7	3,5	645.00	679.30	0.95	34.300
8	1,7	980.00	998.98	0.98	18.980

Dapat diamati dari tabel di atas bahwa data frekuensi mode getar pelat secara analitik dan

eksperimen memiliki kecenderungan nilai yang hampir sama atau mendekati, dengan nilai selisih yang tidak signifikan. Hal ini dapat ditunjukkan pada nilai faktor pengali yang hampir semuanya mendekati nilai 1.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pola mode getar pelat aluminium segi empat (persegi panjang dan bujur sangkar) yang muncul berdasarkan hasil eksperimen disebabkan karena adanya resonansi yang terjadi antara sumber getar dengan bidang pelat. Pola mode getar akan terjadi pada nilai frekuensi tertentu yang sesuai dengan nilai frekuensi alami pelat.

Analisis mode getar pelat aluminium segi empat (meliputi pelat persegi panjang dan bujur sangkar) pada kondisi batas *clamped/fixed boundary* yang dirumuskan secara matematis menggunakan metode analitik, menghasilkan solusi akhir berupa fungsi posisi yang menunjukkan pola mode getar. Mode getar pelat aluminium segi empat hasil analisis secara teori menghasilkan pola-pola yang memiliki kecenderungan sama atau mendekati dengan pola mode getar pelat secara eksperimen pada nilai frekuensi tertentu.

Saran

Terlepas dari keterbatasan yang dimiliki, hasil penelitian ini diharapkan mempunyai

implikasi yang luas untuk penelitian selanjutnya dengan topik serupa. Penelitian selanjutnya hendaknya melakukan variasi bentuk, ukuran, dan bahan pelat yang digunakan dalam penelitian sehingga dapat digunakan sebagai pembandingan dalam mengidentifikasi pengaruh bentuk dan struktur bahan terhadap sifat dinamis sistem terkait dengan karakteristik mode getar yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Avitabile, P. 2018. *Modal Testing*. Lowell: John Wiley & Sons Ltd.
- Balasubramanian, A. 2011. "Plate Analysis with Different Geometries and Arbitrary Boundary Conditions". *Thesis*. Austin: The University of Texas at Arlington.
- Chakraverty, S. 2009. *Vibrations of Plates*. New York: CRC Press.

Yogyakarta, 21 Agustus 2018
Mengetahui,
Dosen Pembimbing

Agus Purwanto, M.Sc.
NIP. 19650813 199512 1 001

