

Analisis getaran untuk memprediksi batas kecepatan *flutter* dengan model seksional menggunakan metode ARMA

Noor Eddy^{1,a*}, Akbar Dirgantara^{2,b}, R.Wibawa Purbaya^{3,c}, Angga^{4,d}

^{1,2}Universitas Trisakti Jl. Kyai Tapa No. 1 Grogol Jakarta Indonesia 11440

^{3,4}UPT LAGG BPPT Jalan Nn No.67, Setu, Kota Tangerang Selatan, Banten Indonesia 15314

^anooreddy.mt@gmail.com, ^bakbardirgantara93@gmail.com

Abstrak

Jembatan bentang panjang mempunyai karakteristik utama yaitu panjang jembatan lebih dari 125 m. Jembatan bentang panjang biasanya dibangun untuk menyebrangi sungai, laut, atau selat. Keamanan jembatan bentang panjang sangat penting karena terletak pada tempat terbuka yang memungkinkan adanya angin dengan kecepatan tinggi, oleh karena itu pada struktur jembatan bentang panjang, angin dapat memberikan pengaruh yang signifikan pada struktur jembatan tersebut karena pengaruh angin dapat menyebabkan masalah keamanan dan pelayanan. Hal tersebut bahkan dapat menyebabkan ketidakstabilan pada seluruh struktur jembatan karena sifat fleksibel dari strukturnya. *Flutter* salah satu dari beberapa gejala penting untuk dipertimbangkan selama perencanaan jembatan bentang panjang. Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian untuk mengetahui batas kecepatan *flutter* pada jembatan bentang panjang dengan *sectional model test* yaitu sebuah metode pengujian yang hanya mengambil segmen tertentu atau potongan dari jembatan sebenarnya dengan skala 1:25 s.d. 1:100 dan menggunakan pegas dengan dimensi dan kekakuan tertentu sebagai menyangga model jembatan. Pengujian ini dilakukan di dalam *wind tunnel* kecepatan angin rendah. Data-data yang didapat dari uji terowongan angin diolah dengan metode ARMA (*autoregressive moving average*) yaitu metode untuk memprediksi batas kecepatan *flutter* yang diperhitungkan melalui MATLAB. Diharapkan pada pengujian ini dapat menentukan batas kecepatan *flutter* pada model jembatan dan menganalisisnya.

Kata kunci : Analisis getaran , *sectional long-span bridge*, *flutter*, metode ARMA, MATLAB.

Pendahuluan

Jembatan bentang panjang mempunyai karakteristik utama yaitu panjang jembatan lebih dari 125 m. Jembatan bentang panjang biasanya dibangun untuk menyebrangi sungai, laut, atau selat. Keamanan jembatan bentang panjang sangat penting karena terletak pada tempat terbuka yang memungkinkan adanya angin dengan kecepatan tinggi, oleh karena itu pada struktur jembatan bentang panjang, angin dapat memberikan pengaruh yang signifikan pada struktur jembatan tersebut pengaruh angin dapat menyebabkan masalah

keamanan dan pelayanan. Hal tersebut bahkan dapat menyebabkan ketidakstabilan pada seluruh struktur jembatankarena sifat fleksibel dari strukturnya. (<http://www.tekniksipil.org/jembatan-pendahuluan/16/1/2015>)

Banyak fenomena-fenomena yang menyebabkan runtuhnya jembatan seperti, fenomena flutter, Getaran Induksi vortex, LSHR (*low wind speed heaving resonance*), atau *Buffeting* (angin terubulen yang datang), kendaraan yang melintas, gempa, orang berjalan. Dll. Fenomena-fenomena tersebut

dinamakan fenomena aeroelastik. (andi, 15:2007). Fenomena *flutter* adalah salah satu dari beberapa gejala penting untuk dipertimbangkan selama perencanaan jembatan bentang panjang. Fenomena *flutter* adalah fenomena yang terjadi akibat redaman total pada struktur jembatan sudah tidak dapat menyerap energi yang dihasilkan oleh angin yang menyebabkan struktur bergetar dengan amplitude yang tinggi. Fenomena ini dapat berakibat fatal dan dapat menghancurkan struktur jembatan. Untuk mengetahui kecepatan angin *flutter* dapat dilakukan dengan uji terowongan angin. Metode yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode model sectional test dan metode ARMA (*Auto-Regressive Moving Average*) untuk memprediksi batas kecepatan *flutter* dan dibantu oleh software pendukung.

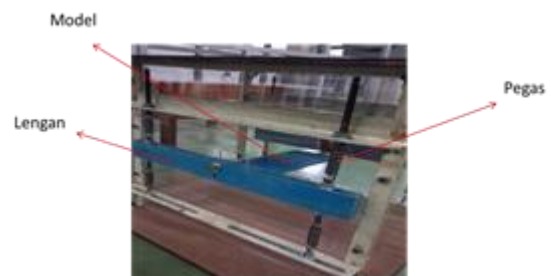


Gambar 1. Fenomena flutter pada tacoma narrow bridge amerika serikat tahun 1940

Metode Penelitian dan Hasil Penelitian

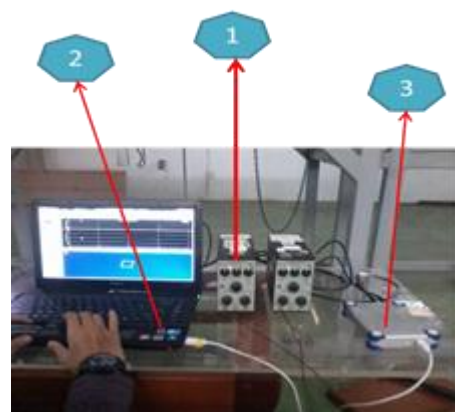
Pada penelitian ini akan dirancang sebuah model seksional jembatan dengan dek

jembatan berpenampang persegi panjang. Model ini memiliki panjang, lebar, dan tebal masing-masing 200 mm, 100mm, dan 10 mm dengan skala perbandingan lebar dan tebal adalah 10 : 1. Untuk memprediksi kecepatan angin saat terjadi flutter dilakukan pengujian hammer testing yang bertujuan untuk mencari frekuensi natural yang terjadi pada model, jenis frekuensi yang dibatasi pada penelitian ini adalah frekuensi gerak heaving, gerak rolling, dan gerak torsi. Setelah melakukan hammer testing selanjutnya model dilakukan uji terowongan angin untuk mendapatkan data getaran yang berupa domain frekuensi dan domain waktu pada setiap kecepatan angin. Domain waktu yang didapat di gunakan untuk memprediksi kecepatan angin *flutter* menggunakan metode ARMA

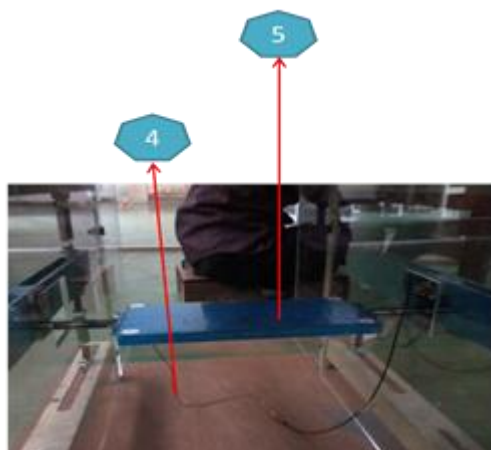


Gambar 2. Hasil Rancangan Model Dek jembatan

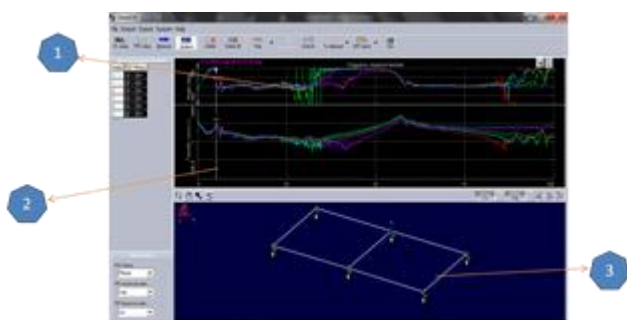
Hammer Testing



Gambar 3. Set up hammer testing keterangan gambar : 1) Conditioning Unit; 2) Laptop dengan software dewesoft; 3) DSA dewetron; 4) kabel sensor accelerometer; 5) model jembatan



Grafik Hasil Hammer Testing Model



Gambar 4. Respon yang terjadi pada model jembatan ketika dilakukan hammer testing. Keterangan gambar : 1) respon dari model berupa domain frekuensi; 2) pengatur; 3) Geometri jembatan

Pembahasan

Hasil hammer testing model didapat frekuensi natural model meliputi 3 jenis gerak yaitu gerak heaving, rolling, dan torsi masing terjadi pada frekuensi 5,25 Hz, 6,75 Hz, dan 9,75 Hz. Hasil ini didapat karena ketika pengatur (ket. Gambar no.3) berada sesuai dengan frekuensi tersebut maka geometri jembatan (ket. Gambar no.3) akan bergerak sesuai dengan karakteristik ketika jenis gerak tersebut.

Uji Terowongan Angin



(a)

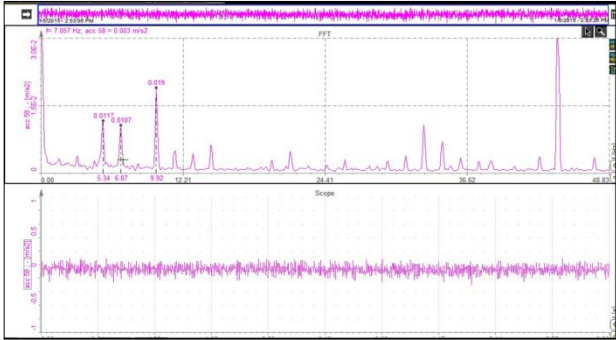


(b)

Gambar 5. Set Up Uji terowongan Angin. a) Model diinstalasi di dalam terowongan angin; b) perangkat pendukung uji terowongan angin.

Prosedur Uji Terowongan Angin

Data domain waktu dan domain frekuensi menggunakan software DeweFRF pada model diambil pada frekuensi operasi *wind tunnel* 1 Hz s.d 35 Hz dengan interval pengambilan data 0,5 Hz dari 1 Hz s.d 15 Hz dan interval 1 Hz dari 15 Hz s.d 30 Hz. Untuk mengukur kecepatan angin di dalam tunnel menggunakan anemometer *hot wire*. Waktu pengambilan data per kecepatan adalah 20 detik. Berikut adalah hasil dari uji terowongan angin model jembatan.



Gambar 6. Grafik domain frekuensi dan domain waktu pada kecepatan angin 0,882 m/s

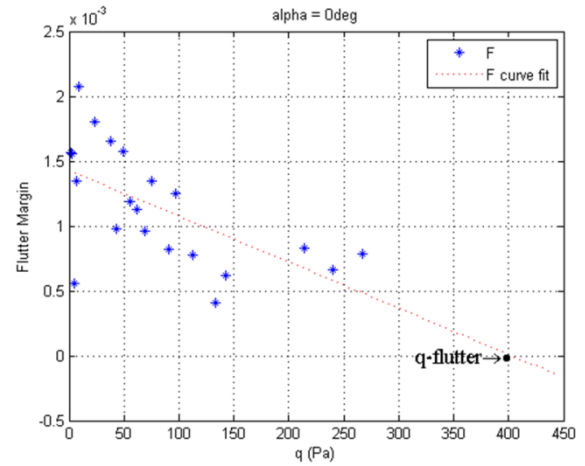
Gambar 6 adalah hasil pembacaan software yaitu domain waktu dan domain frekuensi yang terjadi pada model saat frekuensi tunnel 1.5 Hz pada kecepatan 0.882 m/s.

Pada gambar 6 terlihat frekuensi 5.34 Hz (frekuensi gerak heaving memiliki amplitudo 0.00120 m/s², pada frekuensi 10,40 Hz frekuensi gerak torsi memiliki amplitudo tinggi yaitu 0,0434 m/s² dan frekuensi sekitar 6,75 Hz frekuensi gerak rolling amplitudonya 0,00143 m/s². Hasil keseluruhan data dari uji terowongan angin pada tabel tabel 1.

No	Frekuensi tunnel (Hz)	Kecepatan Angin (m/s)	Tekanan Dinamik (Pa)	Fz
1	2	1.48	1.31424	0.0016
2	2.5	2.11	2.67126	0.0016
3	3	2.71	4.40646	0.0006
4	3.5	3.36	6.77376	0.0013
5	4	3.9	9.126	0.0021
6	6	6.26	23.51256	0.0018
7	7.5	7.94	37.82616	0.0017
8	8	8.48	43.14624	0.001
9	8.5	9.04	49.03296	0.0016
10	9	9.59	55.18086	0.0012
11	9.5	10.1	61.206	0.0011
12	10	10.7	68.694	0.001
13	10.5	11.2	75.264	0.0013
14	11.5	12.3	90.774	0.0008
15	12	12.7	96.774	0.0013
16	13	13.7	112.614	0.0008
17	14	14.9	133.206	0.0004
18	14.5	15.4	142.296	0.0006
19	18	18.9	214.326	0.0008
20	19	20	240	0.0007
21	20	21.1	267.126	0.0008

Tabel 1. nilai Fz dari masing-masing kecepatan

Hasil Pengolahan Data menggunakan Metode Arma



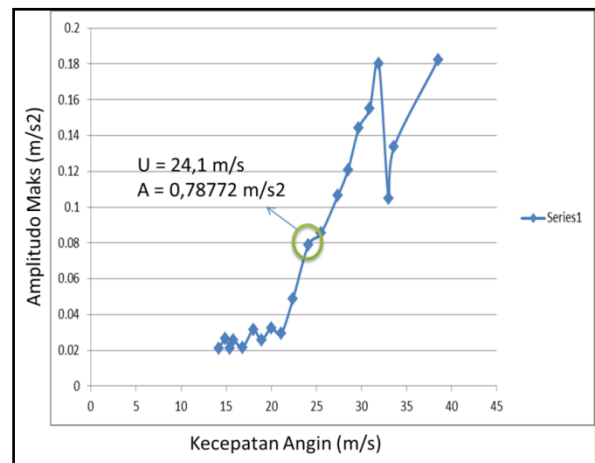
Gambar 7. Hasil Plot hubungan tekanan dinamik(q) dengan (Fz)

Pembahasan

Hasil plot di MATLAB pada gambar 7 didapat tekanan dinamik saat terjadi flutter adalah 403,03 Pa maka dengan rumus tekanan dinamik ($q = 1/2\rho u^2$) didapat kecepatan angin flutter ($u\text{-flutter} = 25,9176$ m/s).

Menentukan Batas Kecepatan Flutter Secara Eksperimental

Untuk menentukan kecepatan angin flutter secara eksperimental yaitu dengan cara menaikkan kecepatan angin pada tunnel sampai terjadi flutter kemudian melakukan analisis hubungan kecepatan angin dan amplitudo pada salah satu jenis gerak yang terjadi (heaving, rolling, atau torsi)



Gambar 8. Grafik hubungan kecepatan angin dengan amplitudo maksimum pada frekuensi gerak heaving.

Pembahasan

Hasil analisis pada gambar 8 didapat kecepatan angin saat terjadi flutter adalah 24,1 m/s karena mulai dari kecepatan tersebut amplitudonya semakin meningkat yang sesuai dengan karakteristik fenomena *flutter*.

Kesimpulan

1. Frekuensi natural model (frekuensi gerak heaving, rolling, dan torsi) didapat masing-masing adalah 5,25 hz, 6,75hz, 9,75 hz.
2. Kecepatan flutter menggunakan metode ARMA adalah 25 m/s, secara eksperimental adalah 24,1 m/s
3. Metode ARMA dapat digunakan untuk mempredisi kecepatan angin flutter pada model jembatan karena perbedaan antara metode ARMA dengan secara eksperimental tidak terlalu jauh (t 3,6%).
4. Gerak yang dominan pada saat terjadi fenomena flutter adalah gerak heaving.

Referensi

- [1] Bruel, Kjaer. 2003. *Experimental Modal Analysis*. Orlando: Union College.
- [2] Crawford, Arthur. 1992. *Simplified Handbook of Vibration Analysis*. United States :Computational System, Incorporated.
- [3] Dwi, Angga. 2010. *Pemantauan Kondisi Mesin dengan Ekstraksi Fitur Sinyal Getaran*. Semarang: Penerbit UNDIP.
- [4] Farriduzaman. 2011. *Software Tool Untuk Memprediksi Flutter*.

Jakarta :Penerbit BPPT.

- [5] Matzusaki. 2011. *Flutter Boundary Prediction Based On Stability System*. Paris: IFASD Paper
- [6] Piersol, Allan. 2010. *Harris Shock and Vibration Handbook*. New York :McGrawHill
- [7] Rao, Singiresu. 2000. *Mechanical Vibration*. Tokyo : Addison Wesley.
- [8] Scanlan, Robert. 2005. *Wind Effect On Structure*. New York : Wiley Interscience Public.
- [9] Suangga, Made. 2009. *PrTOTYPE PerangKAT Lunak Analisis Flutter Pada Jembatan Bentang Panjang*. Jakarta : UBINUS
- [10] Thorby, Doglas. 2008. *Structural Dynamics and Vibration in Practice*.
- [11] Torii, H. 1995. *New Flutter Prediction Methode Based On ARMA Model*. Japan:Denver.
- [12] <http://www.google.com/12/11/2013>
- [13] <http://www.wikipedia.com/4/1/2014>
- [14] <http://www.tekniksipil.org/jembatan-pondahuluan/16/1/2015>