

PENGUKURAN BILANGAN STROUHAL PADA SEBUAH SILINDER DENGAN ALIRAN SILANG

Berkah Fajar TK.¹⁾

Abstrak

Frekuensi pelepasan vortex sebuah silinder dengan penampang lingkaran diukur dengan sebuah sensor polarography. Pengukuran dilakukan pada $Re = 17000$ sampai dengan $Re = 85000$. Rerata bilangan Strouhal yang diperoleh adalah 0,1918. Hasil ini sesuai dengan rerata bilangan Strouhal yang telah diteliti yaitu 0,21 dengan nilai sebaran 7%.

1. PENDAHULUAN

Pola aliran disekitar silinder dengan aliran silang sangat dipengaruhi oleh bilangan Reynolds. Pada bilangan Reynolds sangat rendah pola aliran disekitar silinder sangat mirip dengan pola aliran potensial. Pola aliran ini akan berubah dengan meningkatnya bilangan Reynolds. Pada bilangan Reynolds sekitar 100, mulai terjadi separasi lapisan batas di bagian atas dan di bagian bawah silinder. Separasi tersebut diikuti pembentukan aliran vortex di daerah wake. Apabila di bagian atas melepas vortex, maka di bagian bawah silinder mulai membentuk aliran vortex. Hal tersebut terjadi secara bergantian. Pelepasan vortex yang teratur ini disebut "Karman Vortex Street". Akibatnya terjadi osilasi besarnya momen, perpindahan panas dan gaya angkat pada silinder tersebut. Resonansi dapat terjadi, jika frekuensi pelepasan vortex sama dengan frekuensi pribadi silinder. Contoh terjadinya resonansi ini adalah rusaknya jembatan Tacoma tahun 1940 yang disebabkan oleh pelepasan vortex yang terjadi akibat angin yang menyilang jembatan tersebut, oleh karena itu pelepasan vortex pada suatu benda banyak diteliti [5,6,7,8].

Bilangan Strouhal diusulkan pertama kali oleh seorang fisikawan Jerman V. Strouhal tahun 1878. Bilangan Strouhal didefinisikan dengan hasil perkalian frekuensi pelepasan vortex dan karakteristik panjang silinder dibagi kecepatan bebas fluida. Rerata bilangan Strouhal pada daerah $10^2 < Re_\infty < 10^7$ adalah 0,21 [6,8].

Penelitian aliran fluida disekitar silinder diam telah dilakukan oleh banyak peneliti, baik dengan cara analitik, numerik dan eksperimental.

Penelitian secara analitik telah dilakukan oleh Dorfman, L.A, Schlichting, H dan Zukauskas. Mereka menghitung ketebalan lapisan batas, lokasi terjadinya separasi, pembentukan vortex, bilangan Strouhal dan "Karman Vortex Street". Perhitungan ini dilakukan untuk aliran laminar [1,7,8].

Verifikasi perhitungan itu telah dilakukan oleh beberapa peneliti secara eksperimental. Penelitian ini dilakukan di daerah kondisi aliran subkritik sampai superkritik atau dapat dinyatakan dengan bilangan Reynolds dari 1000 sampai 140000 [2,3,4,5]

Perhitungan numerik terjadinya separasi lapisan batas dan pelepasan aliran vortex untuk sebuah silinder dengan aliran silang telah dilakukan oleh Chew, Y.T [1].

2. METODE PENGUKURAN

Frekuensi Strouhal diukur dengan memanfaatkan reaksi elektrokimia di probe. Reaksi yang terjadi adalah reaksi reduksi oksidasi pada elektoda. Perpindahan massa pada katoda berhubungan dengan besaran perpindahan ion seketika di elektroda. Reaksi yang terjadi pada katoda tersebut terjadi semata-mata hanya oleh difusi dan konveksi. Perpindahan massa/ion ditentukan oleh pengukuran arus $i(t)$. Besar arus seketika sangat tergantung dari keadaan aliran sekitar probe. Sinyal arus yang diperoleh berupa sinyal periodik yang dapat digunakan menentukan frekuensi sinyal. Frekuensi ini sangat ditentukan oleh pelepasan vortex di bagian belakang silinder, dengan perkataan lain frekuensi sinyal sama dengan frekuensi Strouhal.

Langkah pertama merubah sinyal $i(t)$ dengan menggunakan transformasi Fourier.

$$I(j) = \sum_{t=1}^N i(t) \cdot \omega_N^{(t-1)(j-1)} \quad (1)$$

dimana : $\omega_N = e^{(-2\pi i / N)}$

t = waktu

N = jumlah pengukuran

Kemudian diperoleh "Power Spectral Density", P.

$$P = I(j) \cdot \text{conj}(I(j)) / N \quad (2)$$

"Power Spectral Density" diplotkan terhadap fungsi frekuensi, sedang frekuensi tersebut dihitung seperti pada persamaan (3), Frekuensi yang dihitung pada persamaan (3), hanya setengah jumlah pengukuran pertama, atau sampai $j = N/2$.

$$f(i) = \frac{S \cdot j}{N} \quad (3)$$

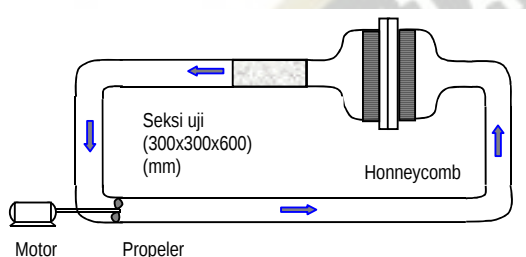
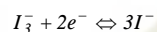
S adalah frekuensi pengambilan data, dalam hal ini adalah 500 Hz.

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

3. PERANGKAT PERCOBAAN

Pengukuran frekuensi Strouhal dilakukan dengan menggunakan reaksi elektrokimia. Pengukuran dilakukan di kanal hidrolik dengan seksi uji berukuran 300x300 mm. Pengukuran ini memanfaatkan reduksi oksidasi Iodida-Triiodida di dalam larutan Kalium Iodida. Larutan tersebut mengandung $0,47 \cdot 10^{-3}$ mol Kalium Iodida per liter dan mempunyai koefisien difusi $1,13 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$. Temperatur fluida kerja diatur oleh sebuah penukar kalor supaya temperaturnya bervariasi tidak lebih dari $0,1^\circ\text{C}$. Kanal hidrolik tersebut dibuat dari bahan inert.

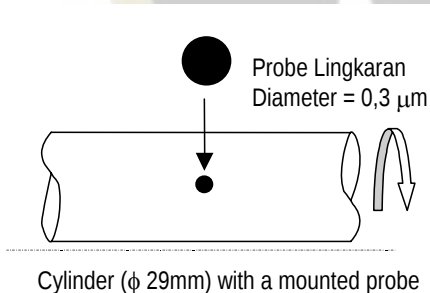
Reaksi elektrokimia tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 1 : Kanal Polarography

Gambar skematik kanal hidrolik tersebut dapat dilihat pada gambar 1. Sebuah altuglas propeler diputar oleh sebuah variabel motor untuk mengalirkan larutan kalium iodida. Model (sebuah silinder) diletakkan pada seksi uji.

Model silinder terbuat dari plexiglas. Diameter silinder adalah 29 mm. Sebuah buah probe lingkaran berdiameter 0,3 mm di pasang di tengah silinder. Gambar silinder berikut probe dapat dilihat pada gambar 2.



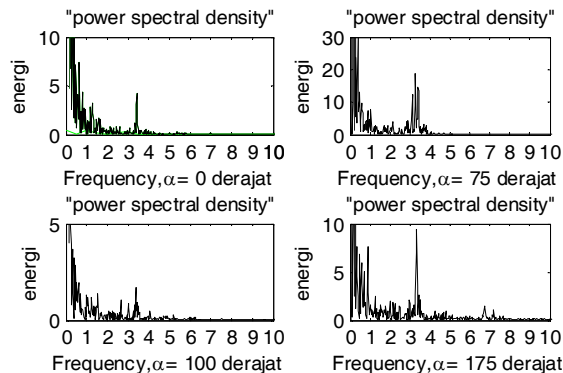
Gambar 2 : Gambar Model dan Probe

Experimen ini dilaksanakan dengan bilangan Reynolds antara 17000 dan 85000.

4. HASIL EKSPERIMEN DAN DISKUSI

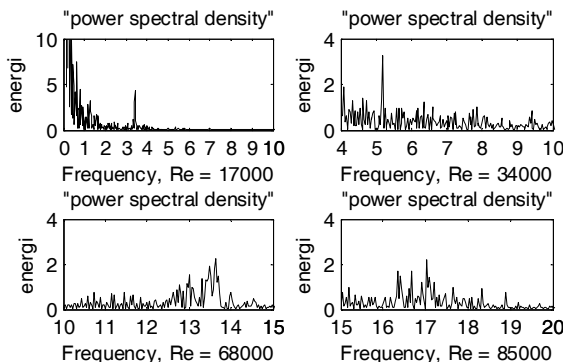
Frekuensi pelepasan vortex diukur pada berbagai azimuth (α) dengan $Re = 17000, 34000, 68000$ dan 81000 . Gambar 3 memperlihatkan frekuensi Strouhal pada azimuth $= 0^\circ, 75^\circ, 100^\circ$ dan 175° pada Re

$= 17000$ ($U = 0,5 \text{ m/s}$). Sinyal yang diperoleh dari pengukuran tersebut, kemudian diproses untuk memperoleh *Power Spectral Density*. Frekuensi Strouhal yang diperoleh adalah 3,4 Hz untuk setiap posisi azimuth. Dengan menggunakan kecepatan fluida $0,5 \text{ m/s}$, diameter silinder $0,029 \text{ m}$ dan frekuensi $= 3,4 \text{ Hz}$, Bilangan Strouhal yang diperoleh $= 0,1972$.



Gambar 3 : Power Spectral Density untuk $\alpha = 0^\circ, 75^\circ, 100^\circ$ dan 175° $Re = 17000$

Gambar 4 memperlihatkan frekuensi strouhal untuk posisi azimuth yang sama (5°) dan $Re = 17000, 34000, 68000$ dan 85000 .



Gambar 4 : Power Spectral Density untuk $\alpha = 5^\circ$ pada $Re = 17000, 34000, 68000$ dan 85000

Frekuensi strouhal yang diperoleh dari hasil pengukuran adalah berturut-turut 3,4 Hz untuk $Re = 17000$, 6,8 Hz untuk $Re = 34000$, 13,7 Hz untuk $Re = 68000$ dan 17,2 untuk $Re = 85000$. Bilangan Strouhal hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1 : Bilangan Strouhal untuk $Re = 17000, 34000, 68000$ dan 85000

No.	Re	St = (f.d)/U
1	17000	0,1972
2	34000	0,1972
3	68000	0,1986
4	85000	0,1995

Bilangan Strouhal pada tabel 1. diplotkan di gambar 5. Bilangan Strouhal hasil penelitian diverifikasi dengan

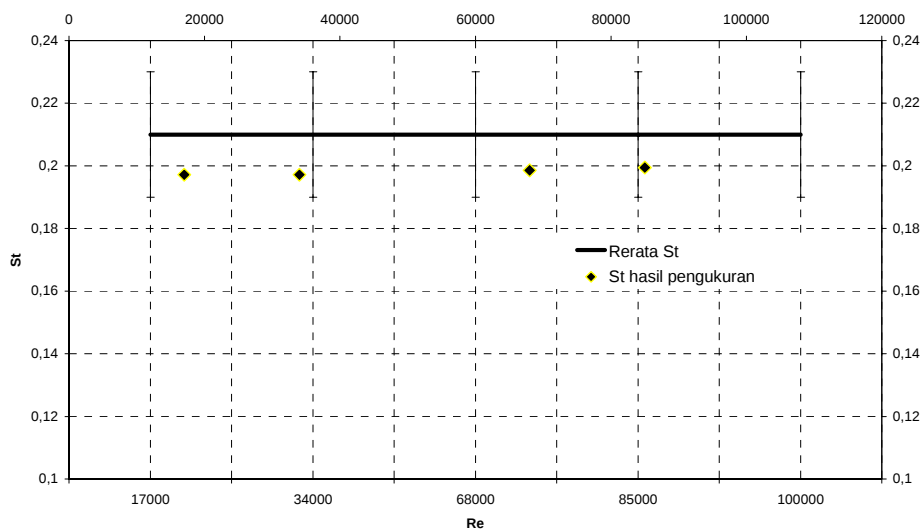
hasil pengukuran dari beberapa peneliti lain. Dari gambar 5, rerata bilangan Strouhal adalah 0,21 dengan sebaran 7% [6,8]. Hasil penelitian ini masih masuk sebaran bilangan Strouhal yang telah dilakukan peneliti terdahulu.

5. KESIMPULAN

- Sinyal hasil pengukuran dengan peralatan Polarografi dapat digunakan untuk menentukan Bilangan Strouhal.
- Rerata Bilangan Strouhal adalah 0,1981 dengan bilangan Reynolds antara 17000 sampai 85000.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Chew, Y.T., Cheng, M., and Luo, S.C., (1995), A numerical study of flow past a rotating circular cylinder using a hybrid vortex scheme, *J.Fluid Mech*, **299**, 35-71.
- Goldstein, R.J. and Karni, (1984), J., The effect of a wall boundary layer on local mass transfer from a Cylinder in Crossflow, *Journal of Heat Transfer*, **106**, 105-106.
- Kays, W.M., Bjorklund, I.S., (1958), Stanford and Calif, Heat transfer from a rotating cylinder with and without crossflow, *Transaction of The ASME*.
- Lebouché, M., Martin, M., (1972), Convection forcee autour du cylindre; sensibilite aux pulsations de l'ecoulement externe, *Int.J.Heat Mass Transfer*, **18**, 1161-1175.
- Oesterle, M., Lauster, M., Waibel, R., Lippig, V. and Straub, D., (1998), Topological structures near a heated rotating cylinder in crossflow, *Experiments in Fluids*, **24**, 308-322.
- Schlichting, H., (1960), Boundary layer theory, 6th, McGraw-Hill, New york, 253-305.
- Tang, T. and Ingham, D.B., (1991), On steady flow past a rotating circular cylinder at Reynolds numbers 60 and 100, *Computers and Fluids*, **19**, No.2, 217-230.
- White, F.M, Fluid Mechanics, (1979), McGraw-Hill, Kogakusha, 351-373.



Gambar 5. Bilangan Strouhal fungsi Bilangan Reynolds