

ANALISIS PENGARUH JARI-JARI SUDUT *BLUFF BODY* TERHADAP GETARAN KANTILEVER PADA SISTEM *VORTEX INDUCED VIBRATION*

Achmad Murdiono¹, M Edward Ramadhan², Robertoes Koekoeh KW²
Rika Dwiqoryah², Salahuddin Junus², Yuni Hermawan²,

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

e-mail: achmad.murdiono01@gmail.com

ABSTRACT

Harvesting energy is a technology used to collect energy from one or more surrounding energy sources and convert it into other forms of energy. Vortex-Induced Vibration (VIV) is a harvesting energy that utilizes the phenomenon of vortex-induced vibrations to convert mechanical energy into electrical energy by utilizing the bluff body's oscillatory motion. This study aims to determine the effect of the corner radius of the bluff body on the mechanical vibrations induced, the stability of the bluff body oscillations and the level of vibration resonance. The research method was carried out using an experimental method using a wind tunnel to determine the effect of the shape of the bluff body on mechanical vibrations induced by the vortex as a generator of electric voltage to detect the resulting vibrations. This study varies the radius of the bluff body angle and also the wind speed starting from 0.5 m/s to 3 m/s. The results showed that the radius of the bluff body greatly influenced the mechanical vibrations induced by the vortex behind the bluff body. The smaller the radius of the bluff body, the greater the vibration amplitude generated. The highest amplitude is obtained by varying the radius of the bluff body 5mm. For the stability of the oscillation is not affected by the radius of the bluff body angle. From the graph of the research results, the bluff body oscillates in a fixed oscillation area and does not grow or decrease without limit so that it can be said that the bluff body oscillations are stable.

Keywords: Bluff body, vortex, VIV, vibration, cantilever.

PENDAHULUAN

Energi listrik diperoleh dari perubahan bentuk energi lain, seperti : energi mekanik, energi panas, energi nuklir. Konsumsi energi listrik nasional jauh lebih besar dibandingkan ketersediaan energi listrik yang ada. Jumlah konsumsi energi listrik tahun 2016 sebesar 216.004,32 GWh, meningkat 6,48% dari tahun 2015. Pembangkit tenaga listrik yang mendominasi saat ini adalah PLTU sebesar 51,69% (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2017).

Harvesting energy merupakan sebuah teknologi yang digunakan untuk mengumpulkan energi dari satu atau lebih sumber energi di sekitarnya dan mengonversi menjadi bentuk energi lain. Berkembangnya teknologi nirkabel dan MEMS, *harvesting energy* dapat menjadi alternatif dari baterai konvensional. Alat elektronik portabel dengan daya rendah dan sensor nirkabel menggunakan baterai konvensional sebagai sumber tenaganya, tetapi masa pakai baterai terbatas dan sangat pendek. Pengisian baterai tidak efisien dan terkadang tidak mungkin. Beberapa penelitian tentang *harvesting energi* telah dilakukan sebagai sumber daya perangkat portabel

atau sistem jaringan sensor nirkabel (Kim, H. S., Kim, J. H., dan Kim, J., 2011).

Getaran merupakan salah satu energi yang dapat dimanfaatkan sebagai *energy harvesting* dengan media piezoelektrik. Piezoelektrik adalah muatan listrik yang terakumulasi dalam bahan padat tertentu, seperti kristal dan keramik akibat dari *mechanical pressure* (tekanan). Getaran yang diperoleh dari pengaruh adanya *vortex* yang menumbuk suatu objek dapat dimanfaatkan untuk dikonversi menjadi energi listrik.

Penelitian yang memanfaatkan fenomena *Vortex-Induced Vibration* (VIV) sebagai energi terbarukan untuk menghasilkan listrik yang diberi nama *The Vortex-Induced Vibration Aquatic Clean Energy* (VIVACE). VIVACE terdiri dari *bluff body* dengan bentuk silinder yang dipasang pada pegas linier dan ditempatkan tegak lurus terhadap arah arus yang stabil. VIVACE dapat mengekstrak energi dari arus laut atau arus sungai dengan rasio konversi daya yang tinggi menjadi sumber daya yang lebih mudah diakses dan ekonomis. Hasil penelitian VIVACE menunjukkan bahwa VIV terjadi pada rentang angka

Reynold yang luas, bahkan dari kecepatan arus yang lambat 0,25 m/s (Bernitsas, dkk., 2008).

Harvesting energy untuk sensor berdaya rendah yang berupa deretan bar dengan penampang segitiga yang melekat pada balok kantilever telah diteliti. Piezoelektrik lembaran terikat pada balok mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pengujian prototipe ukuran sekitar 160 mm x 250 mm dengan berbagai kondisi operasi di terowongan angin menghasilkan daya maksimum 53 mW diukur pada kecepatan angin 11,6 mph (Sirohi, J. dan Mahadik, R., 2008).

Getaran yang diinduksi oleh aliran yang mengenai sebuah penampang (*bluff body*) persegi, segitiga, setengah lingkaran dan terhubung dengan balok kantilever dengan bentuk persegi ringan dirancang agar bisa mengalami osilasi (bergoyang) ketika terkena angin. Daya listrik diekstrak dari getaran kantilever melalui generator elektromagnetik yang terdiri dari magnet permanen yang melekat balok kantilever yang berosilasi melewati kumparan tembaga stasioner. Pada variasi *bluff body* ditemukan power paling besar adalah *bluff body* dengan bentuk D silinder (Ali, M., Arafa, M., dan Elrabi, M., 2013).

Vortex-Induced Vibration (VIV) menggunakan *bluff body* dan batang kantilever dirancang untuk mengetahui performa pembangkitan listrik yang didapat. Metode yang digunakan adalah dengan membandingkan hasil dari pemodelan matematis dan eksperimen di *wind tunnel*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari hasil perhitungan matematis menunjukkan hasil yang sama dengan hasil eksperimen di *wind tunnel* dengan daya keluaran tertinggi 0,1 mW pada kecepatan angin 1,192 m/s (Akaydin, H. D., Elvin, N., dan Andreopoulos, Y., 2012).

Bentuk *bluff body* persegi, segi-6, segi-8, dan lingkaran memberikan hasil yang berbeda terhadap tegangan listrik yang dihasilkan oleh kantilever yang dipasangkan dengan piezoelektrik. Dari hasil penelitian telah dilakukan Gamayel (2017) tegangan rata-rata terbesar diperoleh dengan variasi *bluff body* segi-6 0,037 mV. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa peningkatan kecepatan udara saat melewati *bluff body* segi-6 mampu meningkatkan getaran kantilever piezoelektrik sehingga tegangan listrik yang dihasilkan menjadi besar.

Studi numerik tentang pengaruh jari-jari sudut dan bilangan reynold terhadap aliran fluida pada silinder persegi telah dilakukan oleh Dey dan Das (2017). Jari-jari sudut yang divariasikan yaitu 0,5, 0,51, 0,54, 0,59, 0,64, 0,71 dan pada angka reynold rendah, $Re = 5$ dan $Re = 45$. Pada penelitian diamati lapisan batas, gaya hambat dan kontur aliran pada variasi penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aliran fluida laminar mengalir dengan baik pada silinder persegi lingkaran dibandingkan dengan bujur sangkar. ketebalan lapisan batas berbanding lurus dengan jari-jari sudut dan berbanding terbalik dengan Re .

Pengaruh kekakuan kantilever terhadap tegangan listrik yang dihasilkan pada *vortex induced*

vibration tenaga bayu diteliti oleh Ma'arif (2018). Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental menggunakan *wind tunnel* dan pengukur tegangan menggunakan piezoelektrik tipe *bending*. Hasil penelitian menunjukkan nilai Tegangan listrik paling optimum sebesar 0,207 V diperoleh dalam eksperimen pada variasi batang kantilever panjang 80 mm lebar 40 mm.

Piezoelektrik pelat polimer fleksibel ditempatkan di belakang *bluff body* untuk memanen energi aliran fluida. pelat tipis polietilen yang berbeda dijepit ke *bluff body* silinder persegi dan ditempatkan di terowongan air. Kamera 5000 fps digunakan untuk menangkap defleksi pelat dan pola aliran. Pola aliran untuk beberapa bentuk karakteristik lendutan pelat dihitung menggunakan perangkat lunak PIVlab. Pemodelan interaksi cairan-struktur juga dilakukan dengan menggunakan ANSYS. Hasil pengamatan menjelaskan bahwa defleksi pelat berkembang dari jenis osilasi pelat *splitter* ke jenis gelombang berjalan di mana energi regangan maksimal tercapai. Energi regangan sebanding dengan ketebalan sampai ketebalan optimal setelah setiap penambahan lebih lanjut menjadikan pelat terlalu kaku untuk berdefleksi. Analisis *velocimetry* gambar partikel dan pemodelan interaksi struktur fluida menunjukkan bahwa tidak ada defleksi ketika aliran simetris atau ketika tidak ada aliran tegak lurus yang menimpa pelat. Defleksi terjadi ketika aliran bergesekan dalam mode yang berbeda di kedua sisi pelat (Binyet, E., Huang, C. Y., dan Chang, J. Y., 2017).

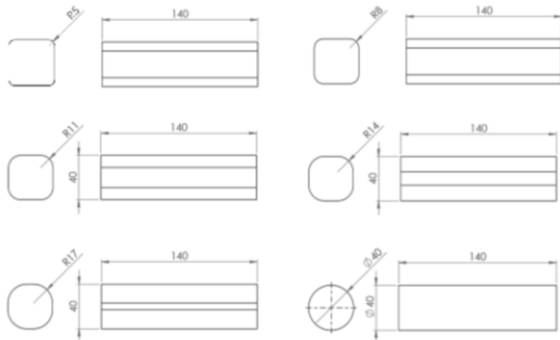
Yoon dkk. (2010) menganalisis karakteristik aliran melewati silinder persegi yang cenderung berkenaan dengan aliran utama dalam rezim aliran laminar. Angka reynold dan posisi sudut kejadian adalah kunci parameter yang menentukan karakteristik aliran. Lokasi titik pemisahan sangat dipengaruhi oleh sudut kejadian atau posisi *bluff body*, sehingga menentukan medan aliran di sekitar *bluff body* silinder persegi. Dalam kasus aliran *unsteady*, laju pertumbuhan gesekan dan tekanan dari C_D dengan peningkatan Re seiring meningkatnya *degree*, rata-rata *drag* maksimum mengarah pada $\theta = 45^\circ$, sedangkan rata-rata *drag* maksimum terjadi pada $\theta = 0^\circ$ untuk Re pada aliran *steady*. Rata-rata koefisien *lift* memiliki nilai yang lebih besar bila θ berada di antara 20° dan 30° , dan ditemukan negatif dalam kisaran $Re > 80$ dan $0^\circ < \theta < 15^\circ$.

Model aerodinamis lain yang disempurnakan akan memberikan efek pada getaran yang berbeda dengan adanya lengkungan (jari-jari sudut). Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai pengaruh jari-jari sudut *bluff body* terhadap getaran yang diinduksikan sehingga mampu meningkatkan frekuensi getaran. Penelitian dilakukan dalam *wind tunnel* yang di mana geometri yang diuji akan dipasangkan pada sebuah kantilever dan dipasang sensor getaran piezoelektrik untuk mengetahui getaran yang diinduksikan

METODOLOGI PENELITIAN

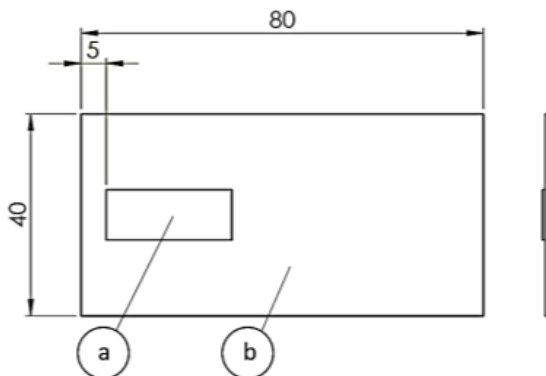
Penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh jari-jari sudut *bluff body* terhadap getaran kantilever yang di induksikan *vortex* di belakang *bluff body*. Pengujian dilakukan di dalam *wind tunnel* dan piezoelektrik (*piezo vibration sensor*) digunakan untuk mengetahui besar voltase yang mendefinisikan besar getaran yang diinduksikan. Pembacaan besar voltase keluaran dari piezoelektrik dilakukan dengan menggunakan USB *oscilloscope* (*proscope*).

Material *bluff body* menggunakan styrofoam dengan melapisi permukaan *bluff body* dengan menggunakan skotlet. *Bluff body* dengan bentuk silinder persegi divariasikan pada jari-jari sudut dimulai 5 mm, 8 mm, 11 mm, 14mm, 17 mm, dan 20 mm sebagaimana dijelaskan pada Gambar 2.



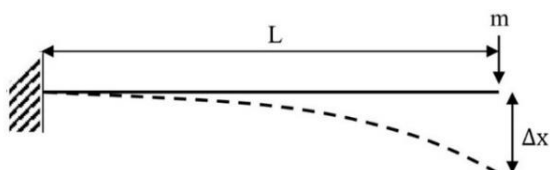
Gambar 2. Desain *bluff body*

Piezoelektrik diletakkan di dasar batang kantilever (dekat dengan tumpuan), diharapkan piezoelektrik menerima defleksi maksimal pada saat batang kantilever beresilasi seperti dijelaskan pada Gambar 3. Kantilever *bluff body* menggunakan polypropylene dengan dimensi 80 mm × 40 mm × 0,5 mm.



Gambar 3. Posisi penempatan (a) *piezo vibration sensor* di (b) kantilever

Pengujian nilai kekakuan batang kantilever didapatkan dengan menggunakan hukum hooke seperti dijelaskan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengambilan data kekakuan pada batang kantilever

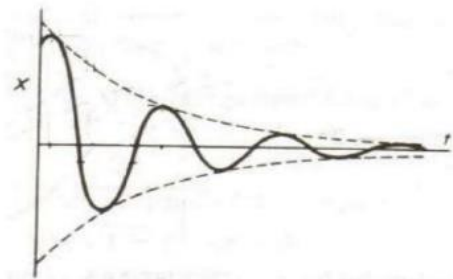
Di mana (L) adalah panjang kantilever, (m) massa, dan (Δx) panjang defleksi. Nilai kekakuan didapat dengan persamaan berikut :

$$k = \frac{F}{\Delta x} \quad (1)$$

Di mana:

- F = gaya (N)
- k = kekakuan (N/m)
- Δx = defleksi (m)

Pengukuran respons getaran bebas dilakukan untuk mendapatkan nilai frekuensi natural pada batang kantilever secara aktual. Apabila suatu sistem, setelah menerima rangsangan dibiarkan bergetar tanpa diberi gaya dari luar, maka frekuensi yang terjadi disebut sebagai frekuensi natural dari sistem tersebut (Rao, S. S., 2011). Ilustrasi respons getaran bebas dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Contoh respons getaran bebas

Secara teoritis frekuensi natural dapat diperoleh dengan persamaan berikut (Thomson, W. T. Dan Dahleh, M. D., 2015).

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2)$$

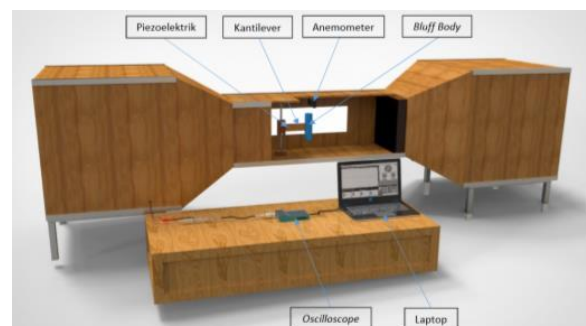
$$f_n = \frac{1}{T} \quad (3)$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4)$$

Di mana

- ω_n = frekuensi natural (rad/s)
- f_n = frekuensi natural (Hz)
- k = kekakuan/konstanta pegas (N/m)
- m = massa (kg)

Pengujian *bluff body* dilakukan pada *wind tunnel* dengan luasan *test section* 30 cm × 30 cm dan panjang 100 cm. Skema pengujian *bluff body* pada *wind tunnel* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema penelitian pada *wind tunnel*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keseluruhan *bluff body* yang telah dibuat sesuai dengan variasi jari-jari sudut disesuaikan massanya sehingga *bluff body* memiliki massa yang sama. Gambar 7 merupakan dokumentasi massa *bluff body*. Dengan massa *bluff body* yang sama pada setiap variasi jari-jari sudut, diharapkan *bluff body* hanya memiliki perbedaan pada jari-jari sudut saat pengujian dilakukan. Gambar 8 merupakan *bluff body* yang sudah memiliki massa sama dan telah terpasang pada kantilever.

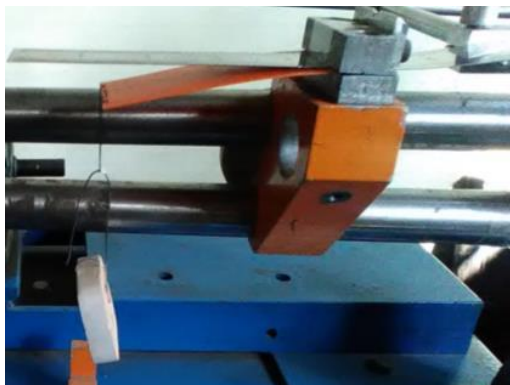


Gambar 7. Spesimen *bluff body*



Gambar 8. *Bluff body* yang terpasang pada kantilever

Pengukuran kekakuan batang kantilever dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan alat *twist and bending machine*. Batang kantilever dijepit pada bagian pangkal dan bagian ujung diberikan beban (*m*) dan kemudian dilakukan pengukuran defleksi (Δx) yang terjadi. Gambar pengujian pengukuran dapat dilihat pada Gambar 9.



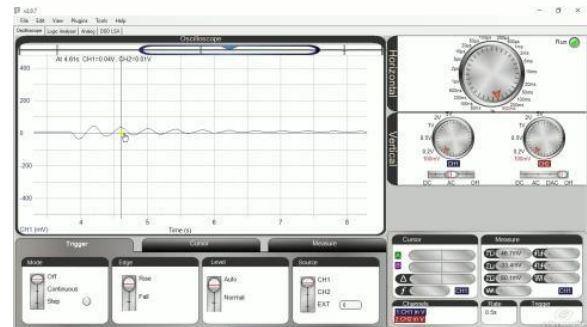
Gambar 9. Pengujian kekakuan kantilever

Berikut perhitungan kekakuan batang kantilever dengan bahan polypropylene dimensi 80 mm \times 40 mm \times 0,5mm :

Diketahui:

$$\begin{aligned} \Delta x &= 21,0 \text{ mm} \approx 0,021 \text{ m} \\ m &= 8,90 \text{ gr} \approx 0,0089 \text{ kg} \\ g &= 9,807 \text{ m/s}^2 \\ F \approx W &= (m \cdot g) \approx 0,873 \text{ N} \\ F &= k \cdot \Delta x \\ k &= \frac{F}{\Delta x} \\ &= \frac{0,873 \text{ N}}{0,021 \text{ m}} \\ &= 4,156 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Respon getaran bebas dari kantilever polypropylene 80 mm \times 40 mm \times 0,5 mm didapatkan dengan eksperimen dengan *piezo vibration sensor* yang direkam dengan menggunakan *usb oscyloscope* (*proscope*). Data tegangan yang terekam oleh *oscyloscope* selanjutnya dianalisis dan dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai frekuensi natural (*fn*) pada batang kantilever yang digunakan untuk pengujian variasi *bluff body* pada *wind tunnel*. Gambar 10 menunjukkan contoh respons tegangan listrik yang terekam dalam *oscyloscope* saat kantilever bergetar dengan eksitasi awal 60 mm.



Gambar 10. Grafik respons getaran bebas kantilever polypropylene yang terekam di *oscyloscope*

Berikut adalah perhitungan frekuensi natural kantilever polypropylene panjang 80 mm lebar 40 mm dan tebal 0,5 mm.

Diketahui :

Tabel 1. Potongan data respons getaran bebas pada kantilever polypropylene panjang 80 mm lebar 40 mm dan tebal 0,5 mm

Sampel (ke-n)	Waktu (ms)	Tegangan (V)
333	3408	0,0007
334	3418	-0,0013
335	3428	-0,0013
336	3438	-0,0043
337	3449	-0,0103
338	3459	-0,0103
339	3469	-0,0143
340	3479	-0,0213
341	3490	-0,0233
342	3500	-0,0273
343	3510	-0,0313
344	3520	-0,0343
345	3531	-0,0343
Sampel (ke-n)	Waktu (ms)	Tegangan (V)
346	3541	-0,0353
347	3551	-0,0363
348	3561	-0,0373
349	3571	-0,0353
350	3582	-0,0333
351	3592	-0,0323
352	3602	-0,0293
353	3612	-0,0263
354	3623	-0,0233
355	3633	-0,0193
356	3643	-0,0153
357	3653	-0,0123
358	3664	-0,0103
359	3674	-0,0013
360	3684	0,0037
361	3694	0,0067
362	3704	0,0107
363	3715	0,0147
364	3725	0,0177
.....		
503	5147	0,0027
504	5158	-0,0003
505	5168	-0,0023

$$= \frac{4.1000}{(5168-3408)}$$

$$= 2,27 \text{ Hz}$$

Tabel 1. Menampilkan data respons getaran bebas pada kantilever polypropylene panjang 80 mm lebar 40 mm dan tebal 0,5 mm dengan jumlah getaran $n = 4$, selang waktu getaran (t) ditentukan dengan mencari selisih waktu awal terjadinya getaran pada sampel dengan akhir terjadinya getaran pada sampel yang diambil. Pengujian frekuensi natural dilakukan 5 kali pengulangan sehingga didapatkan nilai rata-rata dari hasil pengujian frekuensi natural adalah 2.198 Hz.

Frekuensi *vortex shedding* merupakan frekuensi yang diperoleh dari terbentuknya pusaran di belakang *bluff body* pada fenomena VIV. Apabila frekuensi *vortex shedding* mendekati frekuensi natural dari struktur akan terjadi resonansi yang mengakibatkan peningkatan amplitudo getaran (Assi, G. R. S., 2009). Gambar 11 merupakan pengujian yang dilakukan dalam *wind tunnel*. *Piezo vibration sensor* yang terpasang di pangkal kantilever akan terdefleksi saat *bluff body* beresilasi akibat *vortex shedding* yang menginduksikan getaran pada kantilever sehingga frekuensi osilasi dapat terbaca saat voltase dari *Piezo vibration sensor* terekam oleh *oscilloscope*. Data voltase yang terekam pada *oscilloscope* dapat dilihat pada Tabel 2.

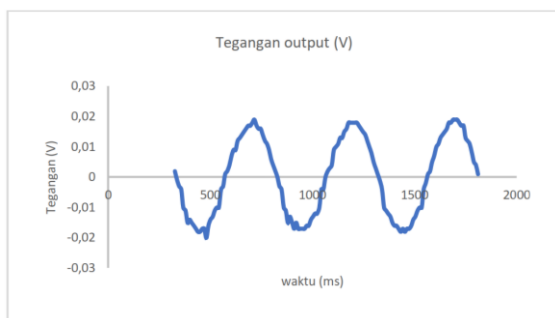


Gambar 11. Pengujian *bluff body* pada *wind tunnel*

Tabel 2. Data voltase keluaran yang terekam pada *bluff body* jari-jari sudut 5mm kecepatan angin 1m/s

$$f_n = \frac{n}{t}$$

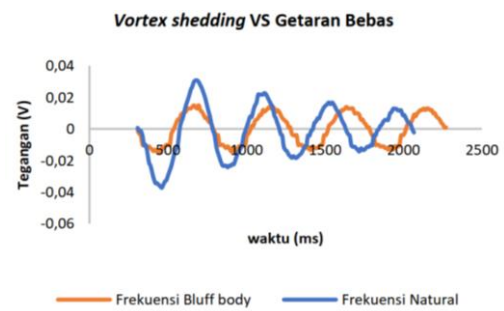
Sampel Ke-n	Waktu (ms)	Tegangan (V)
32	327	0,0019
33	338	-0,0011
34	348	-0,0031
35	358	-0,0041
36	368	-0,0101
37	379	-0,0111
38	389	-0,0151
39	399	-0,0141
40	409	-0,0151
41	420	-0,0161
42	430	-0,0171
43	440	-0,0181
44	450	-0,0181
45	461	-0,0171
46	471	-0,0171
47	481	-0,0201
48	491	-0,0161
49	501	-0,0141
.....		
176	1801	0,0039
177	1811	0,0009



Gambar 12. Grafik gelombang tegangan pada bluff body jari-jari sudut 5mm kecepatan angin 1 m/s

$$\begin{aligned}
 f_n &= \frac{n}{t} \\
 &= \frac{3.1000}{(1811-338)} \\
 &= 2,036 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

Frekuensi *vortex shedding* (f_s) didapat dari jumlah gelombang (n) dibagi dengan rentang waktu terjadinya gelombang (t). Jumlah gelombang pada penelitian diambil 4 gelombang sesuai grafik voltase pada Gambar 12. Waktu gelombang didapatkan dari selisih antara waktu awal dan akhir gelombang sesuai data pada Tabel 2. Nilai frekuensi *vortex shedding* pada variasi jari-jari sudut bluff body di kecepatan angin 1 m/s sebesar 2,034588 Hz. Pada Gambar 13 dapat dilihat perbandingan selisih frekuensi *vortex shedding* dengan frekuensi natural sebesar 0,16 Hz sehingga disimpulkan terjadi fenomena resonansi.



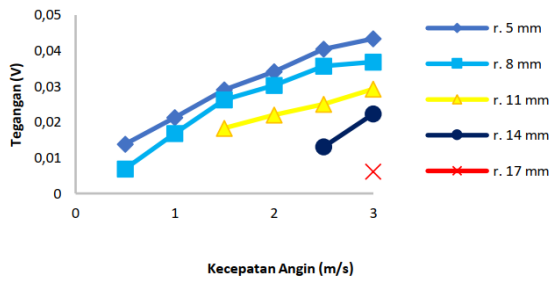
Gambar 13. Perbandingan *vortex shedding bluff body* jari-jari sudut 5 mm pada kecepatan angin 1m/s dengan getaran bebas

Data hasil penelitian yang dilakukan adalah berupa gelombang voltase yang direkam oleh osiloskop dari piezoelektrik. Semakin besar puncak gelombang maka semakin besar pula osilasi bluff body dan juga defleksi dari kantilever penumpu bluff body. Gelombang tegangan bluff body juga menggambarkan frekuensi *vortex shedding* dari bluff body yang terterpa oleh angin.

Pengaruh Jari-Jari Sudut Bluff Body Terhadap Tegangan Output

Jari-jari sudut bluff body yang divariasikan memberikan pengaruh yang signifikan pada tegangan output pada sistem *vortex induced vibration*. Semakin kecil jari-jari sudut memberikan getaran mekanik yang besar dan mendefinisikan vortex yang semakin besar dibelakang bluff body sehingga bluff body mampu beresilasi di kecepatan aliran yang rendah. Semakin besar jari-jari sudut bluff body akan membuat aliran udara yang melewati bluff body semakin streamline sehingga vortex yang dihasilkan akan semakin kecil. Objek dikatakan streamline jika terjadi suatu aliran di atas permukaan yang searah dengan panjangnya dibandingkan tingginya maka objek tersebut dikatakan streamline. Benda yang streamline maupun benda runcing mempunyai daerah wake (olakan aliran di belakang benda) yang lebih kecil dibandingkan dengan benda tumpul (Sugita, I. W. Dan Dzaky, W. A. A., 2017). Aliran fluida laminar yang bagus mengalir pada silinder persegi dengan ujung bundar (yang lebih aerodinamis dibandingkan dengan bujur sangkar) pada rentang bilangan Reynolds 5 dan 45. Dengan studi numerik saat ini, diketahui bahwa ketebalan lapisan batas berbanding lurus dengan jari-jari sudut dan berbanding terbalik dengan Re. Karakteristik ini disebabkan oleh gradien tekanan yang kuat dan tegangan geser dinding yang lemah yang dikembangkan di sekitar silinder. Juga, ketika jari-jari sudut berkurang, silinder menjadi lebih aerodinamis karena pengurangan tekanan dan gaya viskos yang bekerja pada silinder (Dey, P. dan Das, A. K. R., 2017).

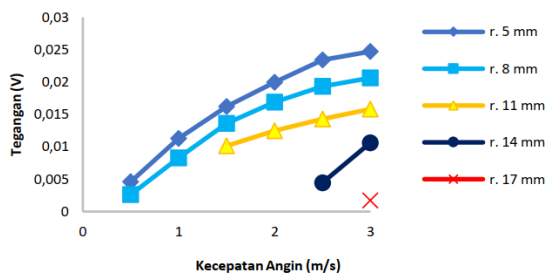
Tegangan maksimum bluff body di kecepatan angin berbeda variasi jari-jari sudut bluff body



Catatan : Starting osilasi setiap variasi jari-jari sudut berbeda, dan untuk jari-jari sudut 20 mm belum beresilasi di kecepatan angin 3m/s.

Gambar. 14 Tegangan maksimum pada variasi jari-jari sudut bluff body

Tegangan rata-rata bluff body di kecepatan angin berbeda variasi jari-jari sudut bluff body



catatan : Starting osilasi setiap variasi jari-jari sudut berbeda, dan untuk jari-jari sudut 20 mm belum beresilasi di kecepatan angin 3m/s.

Gambar 15. Tegangan rata-rata pada variasi jarijari sudut bluff body

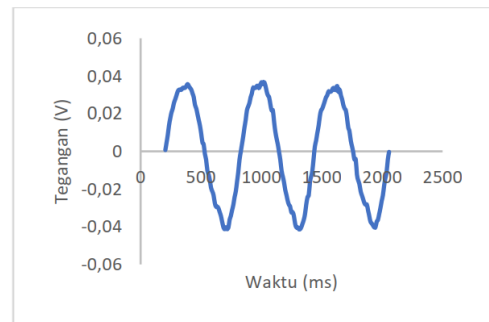
Gambar 14 menyajikan perbandingan tegangan maksimum pada variasi jari-jari sudut bluff body 5 mm, 8 mm, 11 mm, 14 mm, 17 mm, dan 20 mm. tegangan maksimum terbesar didapatkan pada variasi jari-jari sudut bluff body 5mm. Tegangan output akan semakin meningkat dengan menurunnya jari-jari sudut bluff body. Hal ini mendeskripsikan amplitudo getaran yang semakin besar dan juga vortex shedding juga semakin besar. Gambar 15 menjelaskan pengaruh jari-jari sudut bluff body terhadap tegangan rata-rata yang dihasilkan. Tegangan rata-rata berhubungan dengan rentang osilasi dan juga frekuensi vortex shedding. Semakin besar peak osilasi maka frekuensi akan semakin kecil karena membutuhkan waktu yang lebih lama untuk kembali ke posisi awal.

Jari-jari sudut bluff body juga berpengaruh Terhadap Starting Osilasi. Starting osilasi merupakan kondisi saat bluff body mulai beresilasi pada kecepatan angin tertentu. Pada Gambar 14 menjelaskan bahwa bluff body jari-jari sudut 5mm dan 8mm pada kecepatan angin 0,5 m/s sudah beresilasi namun untuk nilai tegangan yang dihasilkan tertinggi adalah bluff body jari-jari sudut 5 mm. Sedangkan pada variasi bluff body jari-jari sudut 20 mm di kecepatan angin 3 m/s bluff body masih belum beresilasi, hal ini dikarenakan semakin besar jari-jari sudut bluff body maka akan semakin streamline permukaan bluff body sehingga intensitas vortex dibelakang bluff body akan semakin kecil.

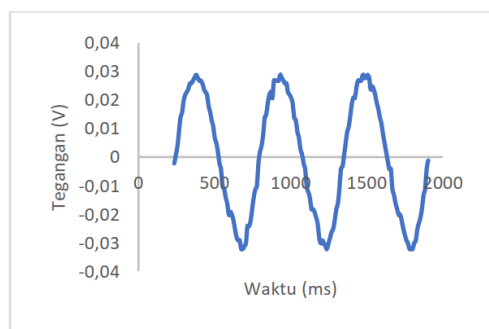
Berdasarkan hasil penelitian Ma'arif (2018) bluff body silinder lingkaran massa 2,2 g dengan panjang kantilever 80 mm × 40 mm × 0,5 mm polypropylene sudah mulai beresilasi di kecepatan angin 1m/s. Dari perbandingan hasil penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa massa bluff body sangat berpengaruh dengan starting osilasi bluff body. Percobaan yang dilakukan oleh Akaydin dkk. (2010) menunjukkan bahwa sangat penting untuk menyeting frekuensi aliran dengan frekuensi alami dari kantilever yang terpasang piezoelektrik untuk memaksimalkan tegangan keluaran piezoelektrik. Jadi starting osilasi selain dipengaruhi jari-jari sudut bluff body juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti massa bluff body dan juga frekuensi alami sistem.

Pengaruh Jari-Jari Sudut Bluff Body Kestabilan Osilasi

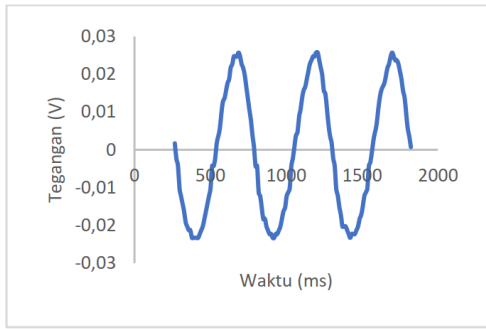
Osilasi bluff body digambarkan oleh tegangan keluaran yang direkam oleh piezoelektrik yang merupakan tegangan AC, Sehingga kestabilan osilasi bisa dilihat dari grafik tegangan output yang terekam. Suatu sistem dianggap tidak stabil jika respons getarannya tumbuh tanpa batas (mendekati tak terhingga) ketika waktu mendekati tak terhingga. Gambar 16-20 merupakan grafik tegangan output variasi jari-jari sudut bluff body pada kecepatan angin 3m/s.



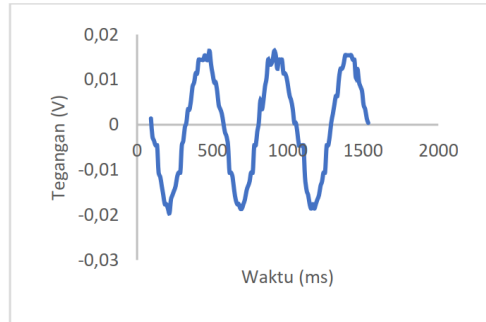
Gambar 16. Grafik tegangan output bluff body jarijari sudut 5 mm



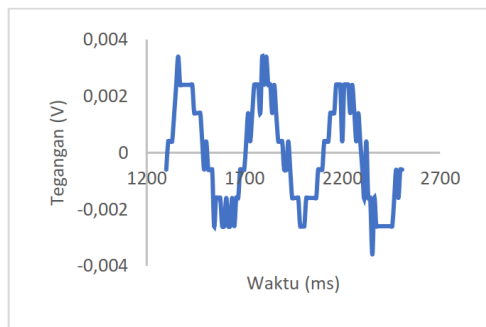
Gambar 17. Grafik tegangan output bluff body jarijari sudut 8 mm



Gambar 18. Grafik tegangan *output bluff body* jarijari sudut 11 mm

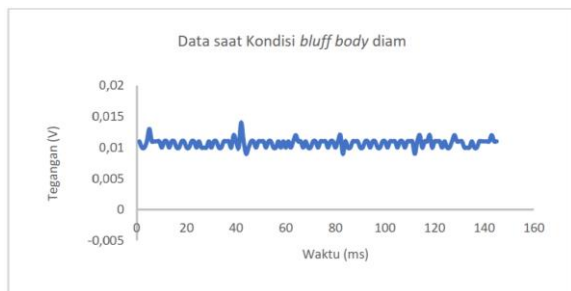


Gambar 19. Grafik tegangan *output bluff body* jarijari sudut 14 mm



Gambar 20. Grafik tegangan *output bluff body* jarijari sudut 17 mm

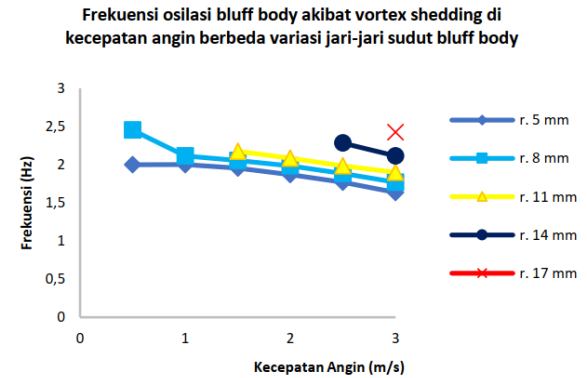
Dari Gambar 16-20 dapat disimpulkan bahwa jari-jari sudut *bluff body* tidak berpengaruh terhadap kestabilan osilasi. Osilasi *bluff body* dikatakan stabil apabila respons getarannya tidak tumbuh tanpa batas (Rao, S. S., 2011). Pada Gambar 16-20 grafik tegangan *output* yang terrekam terdapat gangguan tegangan berasal dari osiloskop, gangguan tegangan dari osiloskop dapat dilihat pada Gambar 21 yang merupakan kondisi saat *bluff body* diam.



Gambar 21. Kondisi 0 osiloskop saat *bluff body* diam

Pengaruh Jari-jari Sudut *Bluff Body* Terhadap Frekuensi Getaran dan Tingkat Resonansi

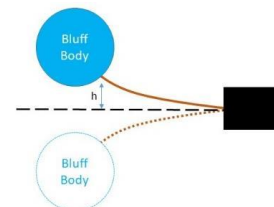
Resonansi diperoleh dari perbandingan frekuensi natural sistem dengan frekuensi sistem. Gambar 22 menjelaskan pengaruh jari-jari sudut *bluff body* terhadap frekuensi getaran yang dihasilkan.



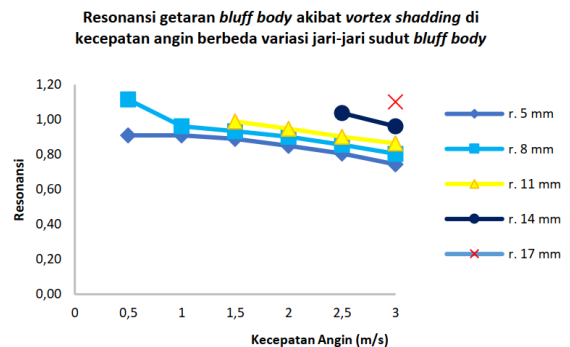
Catatan : Frekuensi *bluff body* jari-jari sudut 20 mm = 0 Hz, hal ini karena *bluff body* masih belum berosilasi sampai kecepatan 3 m/s

Gambar 22. Frekuensi *bluff body* di setiap kecepatan angin pengujian

Dari grafik pada Gambar 22 menjelaskan bahwa semakin besar kecepatan angin maka semakin kecil frekuensi getaran. Hal ini dikarenakan semakin besar kecepatan angin semakin besar pula amplitudo getaran seperti dijelaskan pada Gambar 14 yang menyebabkan *bluff body* membutuhkan waktu yang lebih lama untuk kembali ke kondisi awal seperti ilustrasi yang dijelaskan pada Gambar 23.



Gambar 23. Ilustrasi rentang osilasi *bluff body*



Catatan : Resonansi terjadi apabila $f_s = f_n$, sedangkan frekuensi *bluff body* jari-jari sudut 5 mm = 0 Hz, sehingga resonansi *bluff body* jari-jari sudut 20 mm = 0.

Gambar 24. Tingkat Resonansi

Jika frekuensi rangsangan sama dengan frekuensi natural sistem maka akan didapat keadaan resonansi, dan osilasi besar dapat menimbulkan bahaya. Kerusakan struktur yang terjadi pada gedung, jembatan, kerusakan pada sistem getaran berhubungan

dengan fenomena resonansi ini (Karyasa, T. B., 2011). Namun dalam VIV semakin besar frekuensi maka semakin besar tegangan rata-rata yang dihasilkan selain itu juga harus diimbangi dengan nilai amplitudo yang tinggi. Gambar 24 menjelaskan tingkat resonansi getaran *bluff body* pada kecepatan angin pengujian. Adanya resonansi membuktikan bahwa *bluff body* berosilasi atau bergetar. Dari hasil penelitian pada Gambar 24 menjelaskan bahwa jari-jari sudut *bluff body* berpengaruh terhadap tingkat resonansi. Semakin kecil jari-jari sudut *bluff body* semakin besar nilai frekuensi dari osilasi *bluff body* sebagaimana dijelaskan pada Gambar 22, sehingga tingkat resonansi akan semakin besar

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Jari-jari sudut *bluff body* sangat berpengaruh terhadap getaran kantilever yang digerakkan oleh *vortex* di belakang *bluff body*. Semakin kecil jari-jari sudut *bluff body* semakin tinggi amplitudo getaran yang dihasilkan. Amplitudo tertinggi diperoleh pada variasi jari-jari sudut *bluff body* 5mm dan berurutan di bawahnya adalah jari-jari sudut 8 mm, 11 mm, 14 mm, 17 mm, dan 20 mm. Semakin besar jari-jari sudut *bluff body* akan membuat bentuk *bluff body* semakin aerodinamis, sehingga *vortex* di belakang *bluff body* akan semakin kecil dan membuat amplitudo getaran yang diinduksikan oleh *vortex* juga akan semakin kecil. Tegangan listrik diperoleh dari *piezo vibration sensor* mendefinisikan getaran yang diinduksikan oleh *vortex* di belakang *bluff body*. Semakin besar *peak* gelombang tegangan maka semakin besar pula amplitudo getaran.
2. Hasil penelitian didapat bahwa untuk kestabilan osilasi tidak dipengaruhi oleh jari-jari sudut *bluff body*. Dari grafik hasil penelitian, *bluff body* berosilasi pada area osilasi yang tetap dan tidak tumbuh ataupun berkurang tanpa batas.
3. Jari-jari sudut *bluff body* berpengaruh terhadap resonansi, *bluff body* dengan jari-jari sudut 5 mm dan 8 mm mulai beresonansi di kecepatan angin 0,5 m/s. Semakin kecil jari-jari sudut *bluff body* maka semakin tinggi puncak osilasi *bluff body*. Saat puncak osilasi *bluff body* tinggi, waktu yang dibutuhkan *bluff body* untuk kembali ke posisi awal semakin lama sehingga frekuensi osilasi akan semakin kecil. Tingkat resonansi berbanding lurus dengan frekuensi osilasi, resonansi terbesar di kecepatan angin 3 m/s diperoleh pada variasi jari-jari sudut *bluff body* 17 mm namun tegangan maksimum yang dihasilkan kecil, yaitu 0,00260 V.

SARAN

Pada penelitian yang telah dilakukan memiliki beberapa faktor yang perlu ditingkatkan seperti *input* kecepatan angin yang lebih tinggi serta diperlukan simulasi *transient flow* dengan *software* untuk melihat visualisasi aliran fluida dengan cara yang lebih mudah. Untuk penelitian berikutnya juga

bisa mengembangkan sesuai desain VIVACE dan untuk perencanaan linier generator menggunakan *software* MagNet. *Bluff body* penampang persegi 40 mm x 40 mm dengan jari-jari sudut lebih dari 11 mm memiliki kinerja yang kurang baik dalam menginduksikan getaran. Disarankan untuk mendapatkan *starting* osilasi *bluff body* pada kecepatan angin rendah dan getaran yang besar dapat menggunakan *bluff body* dengan jari-jari 0 mm - 8 mm. Dalam melakukan pengukuran kecepatan angin didasarkan dengan peletakan *bluff body*. Fluida kerja yang digunakan dapat divariasikan, tidak hanya menggunakan fluida kompresibel.

DAFTAR PUSTAKA

- Akaydin, H. D., Elvin, N., dan Andreopoulos, Y., 2012. The Performance of a Selfexcited Fluidic Energy Harvester. *Smart Material and Structures*. 21: 113.
- Akaydin, H. D., Elvin, N., dan Andreopoulos, Y., 2010. Wake of a cylinder: a paradigm for energy harvesting with piezoelectric materials. *SpringerVerlag*. 49:291-304.
- Ali, M., Arafa, M., dan Elraby, M., 2013. Energy Harvesting From Wind-induced Vibrations. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 4: 422-432.
- Assi, G. R. S., 2009. Mechanism for FlowInduced Vibration of Interfering Bluff Bodies. *Tesis*. London: Degree of Doctor of Philosophy. University of London.
- Bernitsas, M. M., dkk., 2008. VIVACE (Vortex Induced Vibration Aquatic Clean Energy): A New Concept in Generation of Clean and Renewable Energy from Fluid Flow. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. 130: 1-15.
- Binyet, E., Huang, C. Y., dan Chang, J. Y., 2017. Polymeric flexible plate in the wake of a bluff body for energy harvesting. *Procedia Engineering*. 199: 1296-1301.
- Dey, P. dan Das, A. K. R., 2017. A numerical study on effect of corner radius and Reynolds number on fluid flow over a square cylinder. *Indian Academy of Sciences*. 42(7): 1155- 1165.
- Gamayel, A., 2017. Panen energi menggunakan piezoelektrik sistem kantilever dengan penambahan bluff body. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*. 6(4): 273-276.
- Karyasa, T. B., 2011. Dasar – dasar Getaran Mekanik. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2017. *Statistik Ketenagalistrikan 2016*. Edisi No. 30 Tahun Anggaran 2017. Jakarta: Direktorat Jendral Ketenagalistrikan.
- Kim, H. S., Kim, J. H., dan Kim, J., 2011. A review of piezoelectric energy harvesting based on vibration. *International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing*. 12(6):1129-1141.
- Ma'arif, S., 2018. Pengaruh Kekakuan (Stiffness) Kantilever dan Orientasi Bluff Body Terhadap

- Tegangan Listrik Pada Vortex-Induced Vibration Tenaga Bayu. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Rao, S. S., 2011. *Mechanical Vibrations*. 5nd Ed. Upper Saddle River: Pearson Education, Inc.
- Sirohi, J., dan Mahadik, R., 2011. Piezoelectric wind energy harvester for lowpower sensors. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 22(18):2215–2228.
- Sugita, I. W. dan Dzaky, M. A. A., 2017. Analisis geometri peluru terhadap nilai drag coefficient pada kecepatan 304,8 m/s. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ.2*: 99-107.
- Thomson, W. T. dan Dahleh, M. D., 2005. *Theory and Vibration with Applications*. 5nd Ed. Beijing: Pearson Education Asia Limited and Tsinghua University Press.
- Yoon, D. H., Yang, K. S., dan Choi, C. B., 2010. Flow past a square cylinder with an angle of incidence. *Physics of Fluids*. 22: 1-12