

Pengaruh Bentuk *Bluff Body* Terhadap Tegangan Listrik yang Dihasilkan Piezoelektrik dengan Sistem Kantilever

Adhes Gamayel

Sekolah Tinggi Teknologi Jakarta
Jl. Jatiwaringin Raya No.278 Pondok Gede, Telp. +62 21 8461155
E-mail : adhesgamayel22@gmail.com

Abstrak – Piezoelektrik adalah salah satu alat pemanen energi. Piezoelektrik dengan mekanisme kantilever menghasilkan getaran dan defleksi secara berulang sehingga menimbulkan tegangan listrik. Penelitian penambahan batang pada ujung piezoelektrik (*galloping system*) telah dilakukan dengan membahas efek gaya drag dan lift terhadap tegangan listrik yang dihasilkan. Namun, Penelitian mengenai bentuk penampang *bluff body* dengan jarak tertentu pada piezoelektrik sistem kantilever belum ada. Metode penelitian yang dilakukan adalah mengukur tegangan maksimal dan tegangan rata-rata yang dihasilkan piezoelektrik dengan variasi: tanpa *bluff body*, *bluff body* penampang segitiga, dan *bluff body* penampang lingkaran. *Bluff body* tersebut dipasang pada jarak 50 dan 100 mm dari piezoelektrik. Penelitian dilakukan dalam terowongan angin mini dengan kecepatan angin 1,4 m/s ; 1,6 m/s ; dan 2 m/s. Hasil terbaik dari penelitian ini didapatkan oleh *bluff body* bentuk penampang segitiga dengan tegangan listrik maksimal 0.34 mV dan tegangan listrik rata-rata 0.038 mV. Aliran udara saat melewati penampang segitiga mengalami peningkatan kecepatan sehingga vorteks yang dihasilkan memiliki kecepatan tinggi. Hal inilah yang mengakibatkan getaran tinggi pada piezoelektrik sehingga tegangan listrik maksimal dan tegangan listrik rata-rata bernilai paling tinggi..

Kata kunci: piezoelektrik, *bluff body*, vorteks.

1 Pendahuluan

Pemanenan energi (*energy harvesting*) adalah cara pengumpulan energi dari sumber energi yang telah dikonversikan menjadi energi listrik. Energi yang dihasilkan kecil sehingga membutuhkan waktu agar dapat dipanen dan dimanfaatkan secara maksimal. Sumber energi angin dapat dipanen secara nyata menggunakan turbin angin. Namun, desain konstruksi tinggi, lahan yang luas, dan kecepatan angin tinggi menjadi syarat agar turbin angin dapat beroperasi dengan baik. Turbin angin tidak bisa ditempatkan di daerah perkotaan, di daerah dengan kecepatan angin rendah, dan di daerah yang padat penduduk.

Di lain hal, Piezoelektrik adalah alat pemanen energi yang dapat mengubah getaran menjadi energi listrik [1]. Pemasangan piezoelektrik dengan mekanisme kantilever menghasilkan getaran dan terjadi defleksi secara berulang sehingga timbul tegangan listrik [2]. Sistem kantilever memiliki kemampuan beresonansi pada frekuensi rendah dan menghasilkan tekanan (*stress*) tinggi pada batang [3]. Penambahan batang silinder pada ujung piezoelektrik

(*galloping cantilever beam*) dilakukan oleh Wang et al, 2014 [4] agar getaran yang dihasilkan lebih baik karena adanya gaya drag dan lift saat udara melewati silinder. Sirohi et al, 2011 [5] meneliti *galloping beam* dengan bentuk penampang seperti huruf D. Getaran terjadi akibat adanya gaya aerodinamika saat udara melewati penampang huruf D. Gaya aerodinamika yang dihasilkan oleh sebuah penghalang (*bluff body*) selain lift dan drag adalah vortex. *Bluff body* dengan bentuk penampang lingkaran memiliki kerugian drag dan tekanan terkecil, namun vortex yang besar ditimbulkan oleh penampang bersudut [6]. Vorteks besar diharapkan mampu menggetarkan piezoelektrik lebih baik, sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh *bluff body* terhadap tegangan listrik yang dihasilkan oleh piezoelektrik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tegangan maksimal dan rata-rata yang dihasilkan oleh piezoelektrik jika diberi penghalang pada jarak tertentu.

2 Dasar Teori

2.1. Piezoelektrik & Getaran

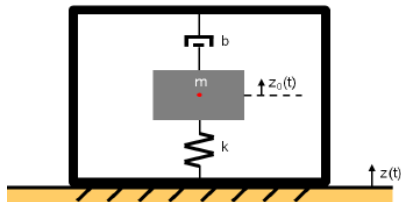
Piezoelektrik didefinisikan sebagai suatu material yang dapat menghasilkan tegangan listrik jika mendapatkan tekanan atau regangan. Saat terjadi tekanan atau regangan di permukaan material piezoelektrik, pergerakan elektron menjadi searah dan terpolarisasi. Hal ini menyebabkan terjadinya muatan positif dan negatif pada permukaan material sehingga timbul tegangan listrik.

Berdasarkan skema pemanenan energi sistem pegas-massa pada gambar 1, peredaman (b), massa (m) dan konstanta pegas (k) memiliki hubungan dalam perubahan gerakan sinusoidal. Getaran frekuensi natural diberikan dengan persamaan $\omega_n = \sqrt{k/m}$ sehingga persamaan sinusoidalnya adalah $z(t) = A \sin(\omega_n t)$.

Daya listrik maksimal dapat dihasilkan pada energi kinetik tinggi, frekuensi resonansi rendah dan tingkat energi redam rendah. Properties getaran untuk sistem kantilever sama dengan sistem pegas-massa sehingga didapatkan persamaan; [7]

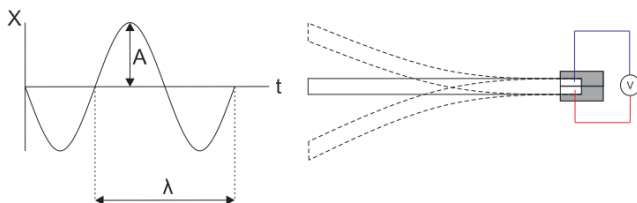
$$m_{eq} = 0.23\rho (W \cdot L \cdot T) + m \quad (1)$$

$$k_{eq} = \frac{3YI}{L^3} = \frac{YWT^3}{4L^3} \quad (2)$$



Gambar 1. Model pemanenan energi sistem pegas-massa [7]

$\rho, W, L, T, Y, I, k_{eq}$ secara berurutan adalah densitas massa, lebar, panjang, ketebalan, modulus Young, momen inersia dan kekakuan. Saat plat ditebuk akan terjadi regangan dan tegangan. Pada kasus dimana regangan bernilai kecil, beberapa material mengabaikan hukum Hooke sehingga tegangan sebanding dengan regangan dimana konstanta proporsionalitas menjadi modulus Young, $Y(\sigma = \delta Y)$.



Gambar 2. Gerak harmonis sederhana piezoelektrik sistem kantilever

Gerak harmonik adalah gerak bolak balik benda melalui suatu titik kesetimbangan tertentu dengan banyaknya getaran benda dalam setiap sekon selalu konstan. Bentuk gerak

periodik yang paling sederhana adalah gerak harmonik. Hal ini dapat diperagakan dengan sebuah massa yang digantung pada sistem kantilever seperti terlihat pada gambar 2. Jika massa tersebut dipindahkan dari posisi diam dan dilepaskan, maka massa tersebut akan beresilasi naik turun.

2.2. Bluff body

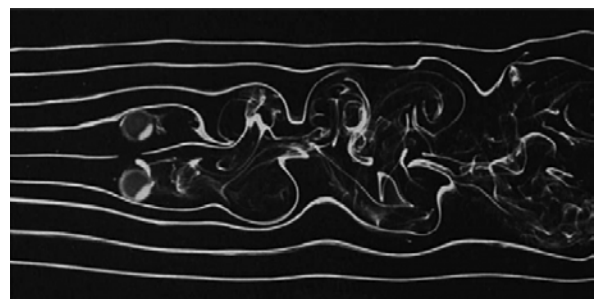
Bluff body adalah suatu bangun geometri yang berfungsi untuk memisahkan aliran yang teratur menjadi tidak teratur. Aliran fluida streamline yang melewati *bluff body* akan menimbulkan olakan dengan nilai vortisitas tinggi sehingga memungkinkan terjadinya vorteks pada aliran tersebut. Vorteks adalah suatu fenomena yang terukur pada streamline yang memiliki nilai rotasional acak yang besar. Rotasi vorteks tersebut akan membuat pergerakan fluida yang terkena efeknya menjadi acak dan cenderung mengarah ke turbulen [8].

Berdasarkan gambar 3, jika vorteks pada aliran udara semakin besar, dapat digunakan sebagai penggerak piezoelektrik sistem kantilever sehingga timbul getaran secara terus menerus. Ilustrasi penggunaan *bluff body* sebagai pemecah aliran udara dan diaplikasikan pada piezoelektrik sistem kantilever dapat dilihat pada gambar 4.

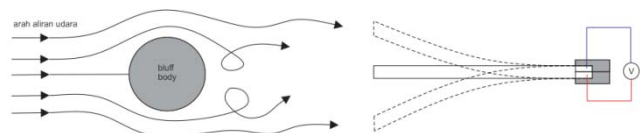
3 Metodologi Penelitian

3.1. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental sungguhan (*true experimental research*) dengan mengukur tegangan listrik rata-rata dan tegangan listrik maksimal yang dihasilkan oleh piezoelektrik sistem kantilever pada aliran udara tanpa *bluff body*, melewati *bluff body* berbentuk segitiga dan lingkaran. Jarak antara piezoelektrik dan *bluff body* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 50 dan 100 mm.



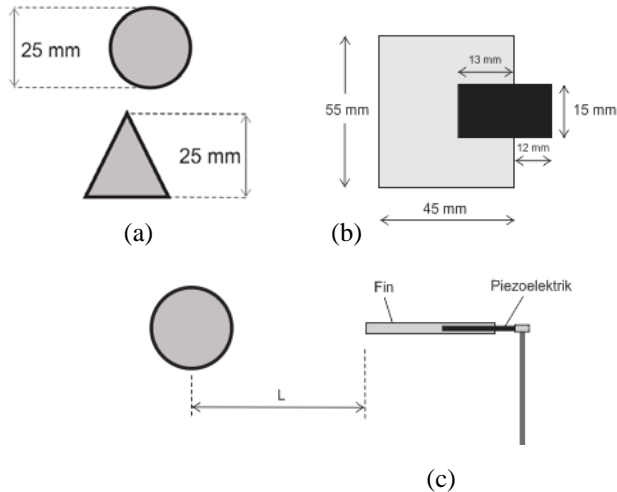
Gambar 3. Fenomena vortex saat udara melewati penampang silinder [9]



Gambar 4. Konsep bluff body sebagai pemecah aliran udara penggerak kantilever

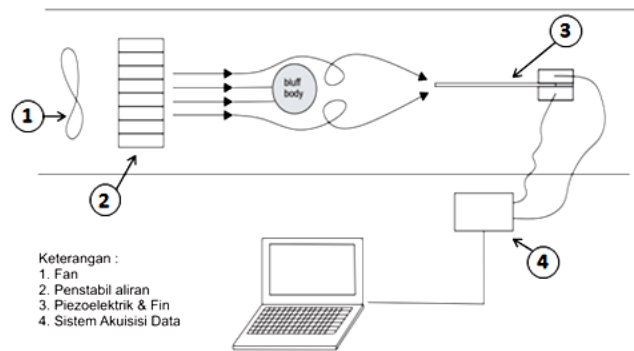
3.2. Alat, Bahan dan Instalasi Penelitian

Diameter dan tinggi *bluff body* adalah 25 mm dipasang sejajar berjarak (L) 50 dan 100 mm dengan piezoelektrik berbahan PVDF tipe LDT0-028K buatan Measurement Specialties dengan dimensi 9.8 x 5.2 mm, ketebalan 28 μm dan dilapisi oleh polyester setebal 0.125 mm sehingga total dimensi menjadi 25 x 15 mm. Piezoelektrik dipasang sirip (*fin*) berdimensi 45 x 55 mm dengan tujuan mendapatkan lendutan maksimal saat udara menumbuk. Detil dimensi *bluff body*, piezoelektrik dan sirip dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. (a) dimensi bluff body, (b) dimensi sirip dan piezoelektrik, (c) Jarak penempatan piezoelektrik- bluff body

Bluff body dan piezoelektrik ditempatkan dalam terowongan angin berbahan akrilik dengan luas penampang 120 x 120 mm. Di dalam terowongan angin, *fan* menghembuskan aliran udara dengan kecepatan yaitu 1.4 ; 1.6 ; dan 2 m/s. Pengukuran tegangan listrik pada piezoelektrik yang bergetar menggunakan mikrokontroler dan sistem akuisisi data berbasis *freeware* yaitu PLX-DAQ dengan pengambilan sebanyak 10 data tiap 1 detik dan tercatat pada tabel excel. Skema penelitian dapat dilihat pada gambar 6.

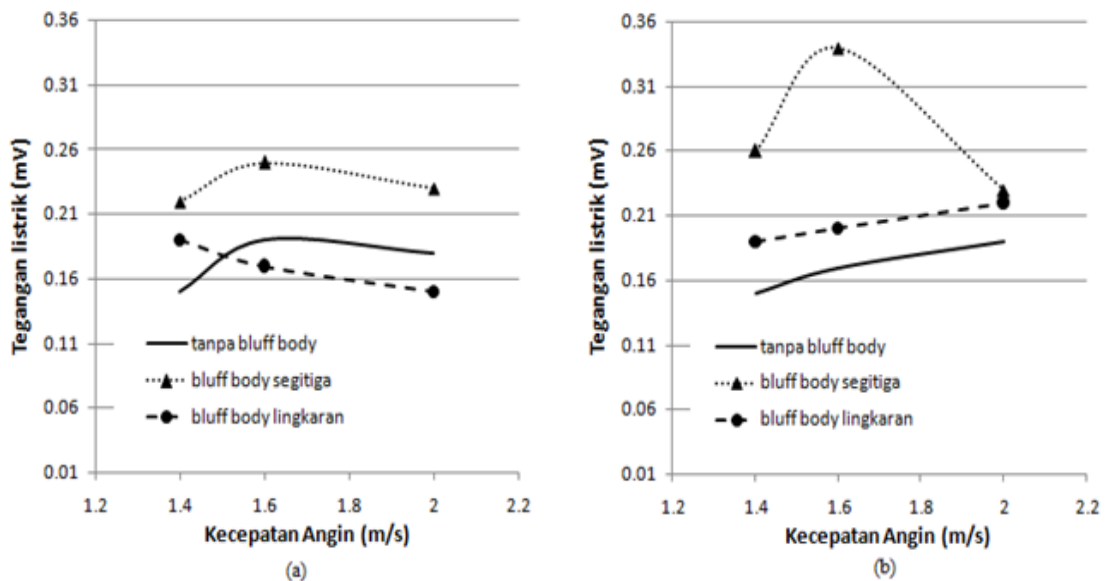


Gambar 6. Skema instalasi penelitian

4 Temuan dan Pembahasan

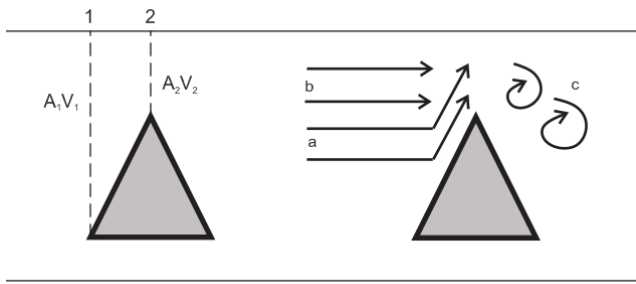
4.1 Hubungan bentuk bluff body dan tegangan listrik maksimal

Tegangan listrik maksimal dalam tulisan ini adalah tegangan tertinggi yang dihasilkan oleh getaran piezoelektrik selama 60 detik. Tegangan maksimal sebesar 0.34 mV didapatkan dari aliran udara 2 m/s yang melewati *bluff body* segitiga pada jarak 100 mm. Hubungan bentuk *bluff body* dan tegangan listrik maksimal yang dihasilkan ditampilkan pada gambar 7. Tegangan listrik maksimal dihasilkan pada aliran udara yang melewati *bluff body* penampang segitiga di jarak 50 mm dan 100 mm. Hal ini karena udara mengalami peningkatan kecepatan saat mengalir di sepanjang penampang segitiga. Jarak penampang segitiga dan dinding terowongan angin semakin ke ujung segitiga semakin pendek, sehingga luasan saluran udara semakin menyempit dan menyebabkan kecepatan udara meningkat. Saat udara telah melewati *bluff body* segitiga dengan kecepatan tinggi, ujung segitiga menjadi



Gambar 7. Tegangan maksimal yang dihasilkan pada jarak (a) 50 mm, (b) 100 mm

penyebab terjadinya vorteks sehingga impuls yang terjadi pada ujung piezoelektrik menjadi besar. Ilustrasi peningkatan kecepatan dan terjadinya vorteks dapat dilihat pada gambar 8. Pada perlakuan tanpa *bluff body*, semakin tinggi kecepatan angin yang diberikan tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap tegangan listrik maksimal yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena tidak timbul vorteks yang mampu meningkatkan impuls pada piezoelektrik.



Gambar 8. Penyempitan aliran udara dan profil kecepatan (a) saat menumbuk penampang, (b) tidak menumbuk, (c) olakan akibat pertemuan antara (a) dan (b)

4.2 Hubungan bentuk bluff body dan tegangan listrik rata-rata

Tegangan listrik rata-rata yang dihasilkan piezoelektrik saat melewati *bluff body* penampang segitiga memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan *bluff body* penampang lingkaran dan tanpa *bluff body* (gambar 9). Untuk *bluff body* penampang lingkaran memiliki nilai terendah saat dipasang pada jarak 50 mm dan nilainya berada di atas aliran udara tanpa *bluff body* saat dipasang pada jarak 100 mm. Hal ini terjadi karena saat dipasang pada jarak 50 mm, terjadi vorteks

tetapi tidak banyak mengenai sirip piezoelektrik, sehingga impuls yang dihasilkan kecil dibanding dengan aliran udara tanpa *bluff body*. Pada jarak 100 mm, sirip piezoelektrik lebih banyak bertumbukan dengan vorteks dari *bluff body* penampang lingkaran.

5 Kesimpulan

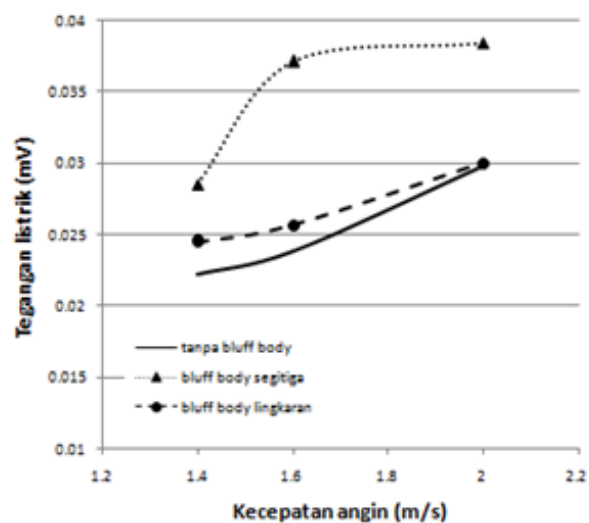
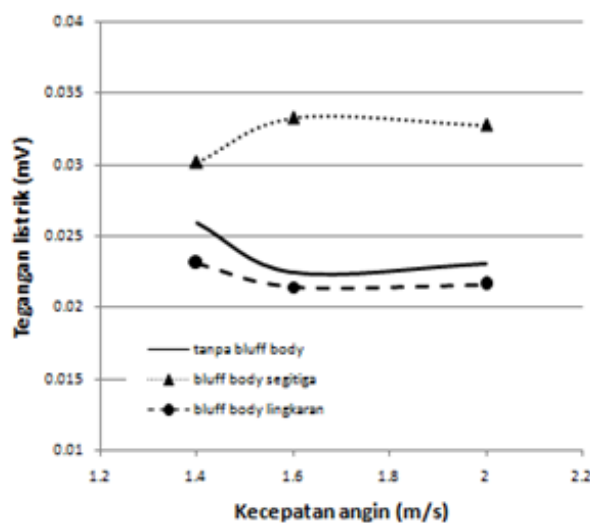
Kesimpulan yang dapat diambil dari pembahasan diatas adalah pemasangan *bluff body* menimbulkan vorteks pada aliran udara sehingga mampu meningkatkan getaran dan tegangan listrik pada piezoelektrik. *Bluff body* penampang segitiga memiliki tegangan listrik maksimal dan tegangan rata-rata paling tinggi karena kecepatan aliran dan vorteks yang dihasilkan tinggi.

Penghargaan

Ucapan terima kasih diberikan kepada M. Ridwan Nurmartha yang telah membantu dalam pengambilan data penelitian ini

Kepustakaan

- [1] Kokkinopoulos A, Vokas G, Papageorgas P. Energy harvesting implementing embedded piezoelectric generators – The potential for the Attiki Odos traffic grid. In The International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES14; 2014. p. 1070 – 1085.
- [2] Yulia E, Putra EP, Ekawati ,E, N. Polisi Tidur Piezoelektrik Sebagai Pembangkit Listrik dengan Memanfaatkan Energi Mekanik Kendaraan Bermotor. Jurnal Otomasi, Kontrol, dan Instrumentasi. 2016; 8(1).
- [3] Kundu S, Nemade HB. Modeling and Simulation of a Piezoelectric Vibration Energy Harvester. In 12th International Conference on Vibration Problems, ICOVP 2015; 2016. p. 568 – 575.



Gambar 9. Tegangan rata-rata yang dihasilkan pada jarak (a) 50 mm, (b) 100 mm.

- [4] Wang J, Ran J, Zhang Z. Energy Harvester Based on the Synchronization Phenomenon of a Circular Cylinder. *Mathematical Problems in Engineering*. 2014; 2014.
- [5] Sirohi J, Mahadik R. Piezoelectric wind energy harvester for low-power sensors. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 2011; 22(18).
- [6] Gandhi BK, Singh SN, Seshadri V, Singh J. Effect of Bluff Body shape on vortex flow meter performance. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*. 2004 October; 11.
- [7] Giuseppe GD, Centuori A, Malvasi A. An improved PZT cantilever SPICE model for practical energy harvesting circuits simulations and measurements. *Measurement*. 2016 September.
- [8] Gamayel A. Pengaruh Pemasangan Bluff Body Terhadap Karakteristik Pembakaran Biobriket. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*. 2014 Mei; 17(1): p. Vol. 17, No. 1, 53-60.
- [9] Bearman PW, Wadcock AJ. The interaction between a pair of circular cylinder normal to a stream. *Journal of Fluid Mechanics*. 1973; 61.