

# Studi Eksperimen Kinerja Turbin Angin Savonius Yang Terintegrasi dengan Gedung dengan Rasio $G/D = 1,4558$

Karunia Sari Gandhini dan Tri Yogi Yuwono  
Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
e-mail: triyogi@me.its.ac.id

**Abstrak**—Tujuan eksperimen ini yaitu untuk mengetahui pengaruh penambahan model dinding bangunan di dekat *advancing blade* terhadap performa turbin Savonius. Studi eksperimen dilakukan dengan menggunakan turbin angin Savonius 2 blade dengan diameter sudu turbin ( $D$ ) = 165,2 mm, tinggi turbin ( $H$ ) dan panjang karakteristik ( $L$ ) = 303,4 mm, diameter *endplate* ( $D_0$ ) = 321 mm, diameter poros ( $b$ ) = 19 mm. Kemudian digunakan model dinding bangunan dengan jarak antara pusat poros turbin dengan beberapa parameter tetap yaitu rasio jarak pusat poros turbin ke model dinding bangunan terhadap diameter sudu turbin ( $G/D$ ) = 1,4558, rasio tinggi turbin terhadap panjang karakteristik ( $H/L$ ) = 1, rasio jarak pusat poros turbin ke muka model bangunan terhadap diameter sudu turbin ( $S/D$ ) = 4,91, rasio jarak *end plate* bagian atas ke atap model bangunan terhadap diameter sudu turbin ( $T/D$ ) = 1,16 dan rasio jarak *end plate* bagian bawah ke plat dasar penyangga turbin Savonius terhadap diameter turbin Savonius ( $K/D$ ) = 1,31. Selanjutnya, digunakan variasi kecepatan sebesar 4; 5; 6; 7; 8 dan 9 m/s. Hasil yang didapat dari penelitian ini yaitu dengan peletakan model dinding bangunan di dekat *advancing blade* turbin Savonius menggunakan rasio  $G/D = 1,4558$ , efektif dalam meningkatkan *Coefficient of Power* ( $C_p$ ) dan *Coefficient of Moment* ( $C_m$ ) pada kecepatan 4 m/s dan 6 m/s. Kenaikan nilai  $C_p$  dan  $C_m$  maksimum terjadi pada kecepatan 4 m/s dengan kenaikan nilai  $C_p$  dan  $C_m$  secara berturut-turut yaitu 46,56% dan 34,1%. Sedangkan pada pengukuran *Coefficient of Static Torque* ( $C_{TS}$ ) menunjukkan bahwa adanya dinding bangunan dapat meningkatkan kemampuan *self starting* turbin Savonius pada seluruh variasi kecepatan.

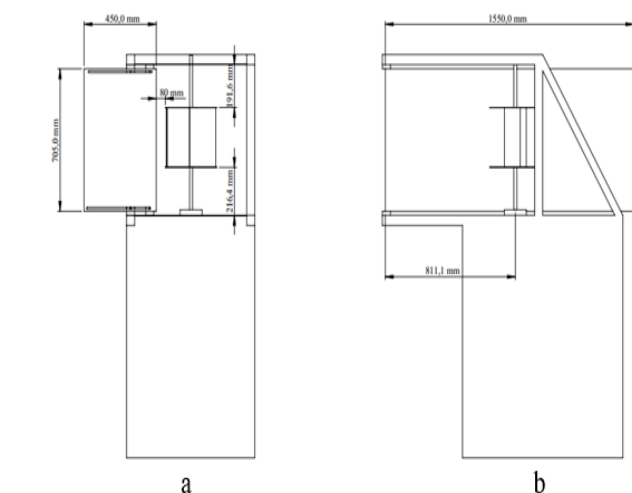
**Kata Kunci**—Coefficient of Moment, Coefficient of Power, Coefficient of Static Torque, Dinding Bangunan, Turbin Angin Savonius.

## I. PENDAHULUAN

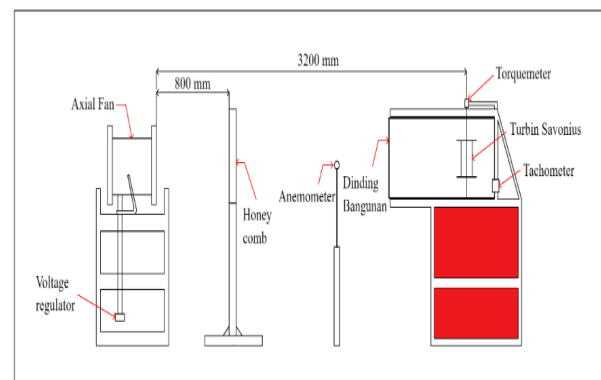
DI tengah meningkatnya kebutuhan energi listrik dan dalam upaya mengurangi penggunaan sumber energi tak terbarukan yang dapat menyebabkan pemanasan global (*global warming*), maka digunakanlah sumber energi terbarukan salah satunya adalah energi angin menggunakan turbin angin.

Salah satu jenis turbin yang dapat digunakan yaitu turbin angin Savonius yang masuk kedalam kategori *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) yang dikategorikan berdasarkan posisi porosnya. Terdapat 2 jenis *blade* pada turbin Savonius yaitu *advancing* dan *returning blade*, dimana perbedaan gaya *drag* pada kedua sudu turbin tersebut menyebabkan turbin berputar. Selisih gaya *drag* tersebut akan menghasilkan torsi apabila dikalikan dengan jari-jari turbin Savonius. Torsi yang dikalikan dengan kecepatan angular turbin Savonius akan menghasilkan daya turbin.

Keunggulan dari turbin Savonius yaitu memiliki struktur yang sederhana dan murah, dapat menerima angin dari segala



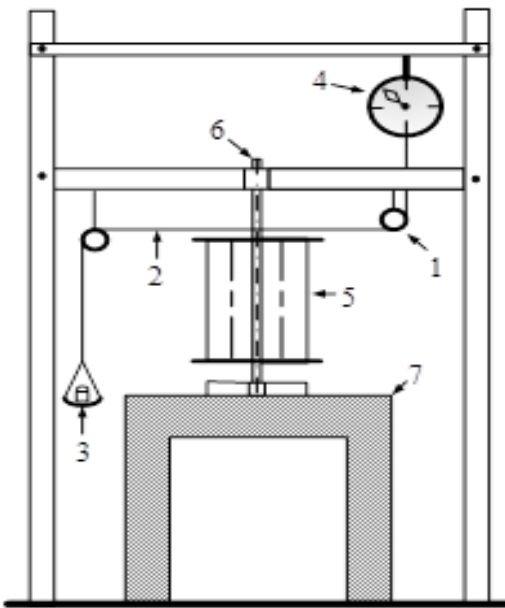
Gambar 1. Skema penelitian tampak depan.



Gambar 2. Skema penelitian.

arah, memiliki *self starting* yang baik sehingga hanya membutuhkan kecepatan angin rendah untuk memutar turbin. Dengan memanfaatkan kelebihan tersebut, pemasangan turbin Savonius pada bangunan bertingkat tinggi mulai dilakukan hal ini bertujuan untuk memanfaatkan aliran bebas hambatan (*undisturbed*) dimana pada daerah tersebut angin berhembus lebih kencang sehingga akan menguntungkan apabila diaplikasikan di Indonesia yang memiliki kecepatan angin rendah. Selain dengan memanfaatkan dinding bangunan maka tidak diperlukan konstruksi penyangga (*support*) sehingga instalasinya lebih praktis dan murah.

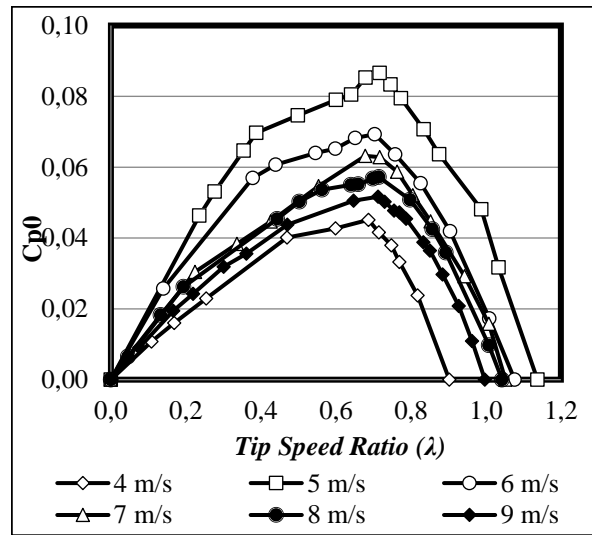
Penelitian terdahulu terkait pemasangan turbin angin pada bangunan dilakukan oleh Mao, dkk (2020) [1]. Penelitian ini menganalisis kinerja turbin angin Savonius yang dipasang di sudut gedung bertingkat tinggi dengan menggunakan simulasi CFD dengan mempertimbangkan beberapa parameter salah satunya yaitu dengan memvariasikan *turbine gap*. Variasi *turbine gap* yang digunakan yaitu 0,75D; 1,00D;



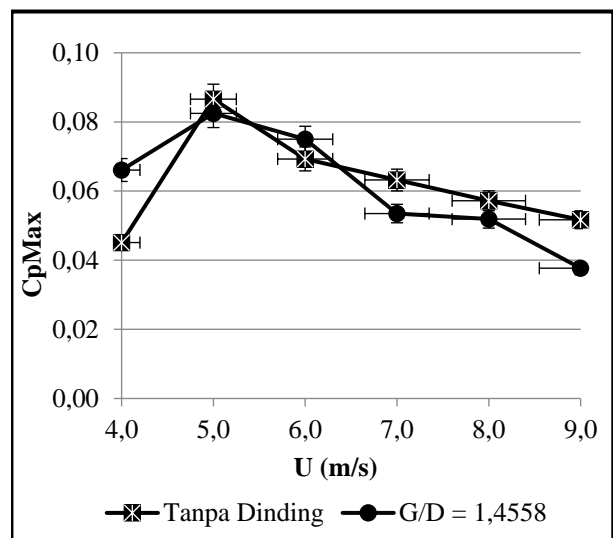
Gambar 3. Mekanisme brake dynamometer.  
Keterangan

1. Sistem Pulley
2. Benang Nilon
3. Massa Pemberat
4. Neraca Pegas
5. Turbin Savonius
6. Poros turbin Savonius
7. Penyangga turbin Savonius

1,5D dan 2,00D, sedangkan D merupakan panjang karakteristik turbin yaitu sebesar 0,91 m. Hasil dari penelitian ini yaitu semakin besar *turbine gap* maka performa turbin akan semakin menurun, akan tetapi performanya masih lebih baik dibandingkan saat turbin beroperasi pada kondisi *uniform flow*. Penelitian meningkatkan performa turbin Savonius dengan memvariasikan geometrinya dilakukan oleh Mahmoud N.H, dkk (2010) [2]. Geometri turbin Savonius yang divariasikan yaitu jumlah *blade*, jumlah *stage*, *overlap ratio*, *aspect ratio* dan pemberian *end plate*. Dari penelitian ini didapatkan bahwa turbin Savonius 2 *blade* memiliki efisiensi yang lebih baik dari pada turbin 3 *blade* dan 4 *blade*, turbin 2 *stage* memiliki performa lebih baik dari pada turbin *single stage*, turbin Savonius dengan *end plate* menghasilkan daya yang lebih tinggi dari pada turbin tanpa *end plate*, turbin tanpa *overlap* menghasilkan *power* yang lebih tinggi dari pada turbin dengan *overlap*, serta semakin tinggi *aspect ratio* maka semakin baik efisiensi yang dihasilkan turbin Savonius. Penelitian mengenai pemasangan turbin Savonius pada dinding bangunan bertingkat tinggi dengan menggunakan *guide vane* dilakukan oleh Park, dkk (2015) [3]. Penelitian ini dilakukan dengan CFD untuk menentukan desain terbaik dari rotor dan *guide vane*. Dan didapatkan bahwa rotor tipe F dengan jumlah *blade* 8 serta *guide vane* tipe 2 yang memiliki *space* lebih besar, menghasilkan performa terbaik. Selanjutnya desain tersebut diujikan secara eksperimental dan didapatkan hasil bahwa penambahan *guide vane* mampu meningkatkan performa turbin Savonius. Penelitian deskriptif mengenai bangunan yang terintegrasi dengan turbin (*Building Augmented Wind Turbine*) dilakukan oleh Marco Casini (2015) [4]. Dari penelitian ini didapatkan 3 pemasangan turbin pada bangunan yaitu pemasangan turbin di dekat gedung (*roof top* atau *sides the building*) cocok digunakan turbin *vertical axis wind turbine* (VAWT),



Gambar 4. Grafik nilai  $C_{p0max}$  fungsi  $\lambda$  turbin tanpa dinding bangunan.



Gambar 5. Grafik komparasi nilai *coefficient of power* maksimum turbin savonius tanpa dan dengan dinding bangunan fungsi kecepatan udara dengan rasio  $G/D = 1,4558$ .

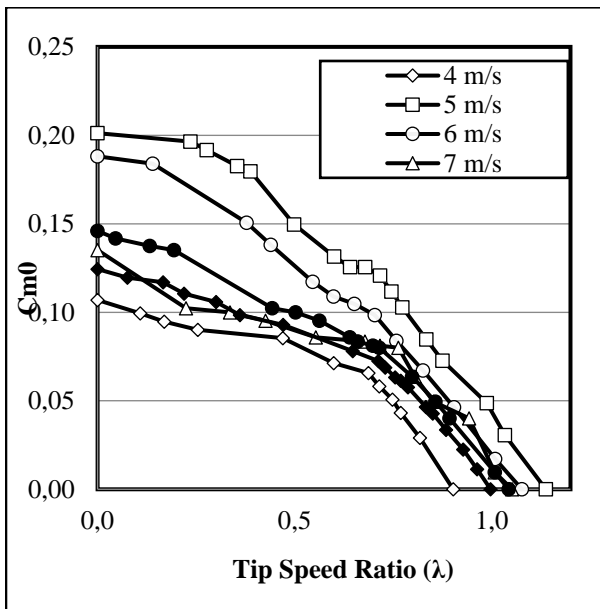
pemasangan turbin di antara dua bangunan cocok digunakan turbin jenis *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan pemasangan turbin pada sebuah bangunan cocok digunakan turbin berukuran kecil.

Dari penelitian-penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa masih perlu dilakukan penelitian lain mengenai performa turbin Savonius yang diletakkan di dekat dinding bangunan. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan model dinding bangunan di dekat turbin Savonius. Dalam eksperimen ini digunakan turbin Savonius 2 *blade* dengan sudu *advancing* berada di dekat dinding bangunan menggunakan rasio  $G/D = 1,4558$ . Kemudian diberikan variasi kecepatan angin yaitu 4; 5; 6; 7; 8 dan 9 m/s.

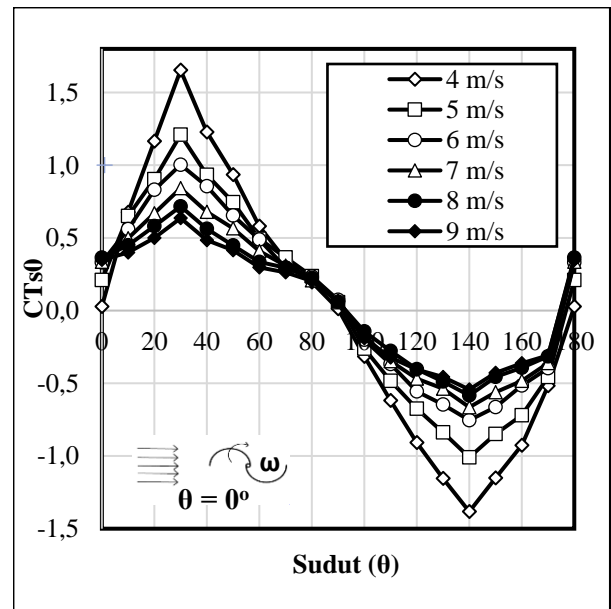
## II. METODE PENELITIAN

### A. Skema Penelitian

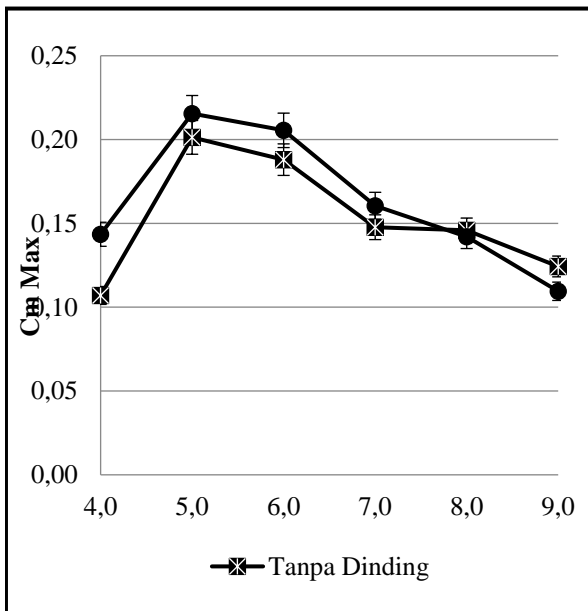
Eksperimen ini dilakukan dengan membandingkan performa turbin Savonius tanpa dan dengan model dinding bangunan. Pada penelitian ini sudu *advancing* berada didekat dinding bangunan dan diatur jarak dari pusat poros turbin terhadap dinding bangunan ( $G$ ) = 240,5 mm; jarak *end plate*



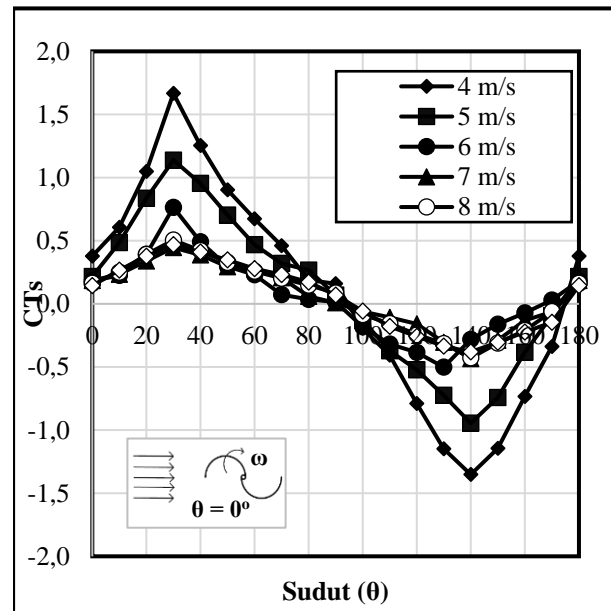
Gambar 6. Grafik *coefficient of moment* turbin savonius tanpa dinding bangunan ( $C_{m0}$ ) terhadap fungsi  $\lambda$  untuk semua variasi kecepatan.



Gambar 8. Grafik  $C_{T50}$  fungsi sudut *blade* turbin angin savonius ( $\theta$ ) untuk seluruh variasi kecepatan.



Gambar 7. Grafik perbandingan *coefficient of moment* maksimum turbin savonius tanpa dan dengan dinding bangunan sebagai fungsi kecepatan.



Gambar 9. Grafik  $C_{Ts}$  fungsi sudut *blade* turbin angin savonius ( $\theta$ ) untuk seluruh variasi kecepatan.

bagian atas terhadap atap bangunan ( $T$ ) = 191,6 mm; jarak *end plate* bagian bawah terhadap plat dasar penyangga turbin ( $K$ ) = 216,4 mm dan jarak pusat poros turbin terhadap muka depan bangunan ( $S$ ) = 811 mm. Gambar 1 menunjukkan skema penelitian sedangkan gambar 2 menunjukkan skema pengukuran dengan penambahan dinding bangunan, dimana pada gambar 2 tersebut terlihat bahwa jarak pusat poros turbin dan *honey comb* terhadap *axial fan* berturut-turut adalah 3200 mm dan 800 mm.

**B. Peralatan**

Pada penelitian ini digunakan benda uji berupa Turbin Savonius 2 *blade* dengan dimensi diameter sudu turbin ( $D$ ) = 165,2 mm; diameter *end plate* ( $D_0$ ) = 321 mm; tinggi turbin ( $H$ ) = 303,4 mm; diameter poros ( $b$ ) = 19 mm; panjang karakteristik turbin ( $L$ ) = 303,4 mm, tebal sudu turbin ( $x$ ) = 4 mm dan tebal *end plate* 1 mm. Serta digunakan dinding

bangunan dengan dimensi (tampak depan) panjang = 705 mm dan lebar = 450 mm.

**C. Alat Ukur**

Pada penelitian ini digunakan beberapa alat ukur antara lain *tachometer* OMEGA HHT 12 yang digunakan untuk mengukur kecepatan putaran turbin, Anemometer OMEGA HHF-92A yang berfungsi untuk mengukur kecepatan angin yang keluar dari *axial fan*, neraca pegas Nagata sebagai alat ukur massa pemberat yang ditambahkan, *Voltage regulator* TDGC 2J-3 yang digunakan untuk mengatur besar keluaran tegangan yang dibutuhkan saat penelitian dan *brake dynamometer* untuk mengukur torsi dinamis turbin Savonius yang ditunjukkan pada gambar 3. Pengukuran torsi dinamis didapatkan melalui penambahan beban secara berkala hingga turbin berhenti berputar sehingga didapatkan grafik *Coefficient of Power* dan *Coefficient of Moment* fungsi *Tip Speed Ratio* ( $\lambda$ ). Serta digunakan juga *Torquemeter* LUTRON TQ-8800 untuk mengukur torsi statis turbin

Savonius sehingga didapatkan grafik *Coefficient of Static Torque* fungsi sudut sudu turbin ( $\theta$ ).

#### D. Perhitungan Data Penelitian

Dalam hal ini nilai torsi dinamis yang dihasilkan digunakan untuk menghitung daya turbin ( $P_T$ ) dengan rumus sebagai berikut:

$$P_T = T_d \cdot \omega \quad (1)$$

Dimana  $T_d$  merupakan torsi dinamis (N.m) dan  $\omega$  merupakan kecepatan sudut (rad/s). Torsi dinamis dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T_d = \{(s - m)g\} \times r \quad (2)$$

$s$  merupakan hasil pembacaan dari neraca pegas (kg),  $m$  merupakan massa pemberat (kg), dan  $r$  merupakan radius dari silinder yang menerima beban (m). Sedangkan  $T_d$  dikalikan dengan kecepatan putar turbin menghasilkan daya. Kecepatan putar turbin dihitung dengan persamaan berikut:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (3)$$

dimana  $n$  merupakan putaran poros turbin Savonius (rpm). Sedangkan untuk daya input berupa gaya kinetik angin yang berhembus tiap satuan detik dihitung menggunakan persamaan 4.

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3 \quad (4)$$

$U$  merupakan kecepatan udara (m/s),  $\rho$  merupakan massa jenis udara ( $kg/m^3$ ) dan  $A$  merupakan *cross sectional area* ( $m^2$ ) yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$A = L \cdot H \quad (5)$$

$L$  merupakan panjang karakteristik turbin yang didapatkan dengan rumus (2D-b-2x) dimana  $D$  merupakan diameter sudu turbin (m);  $b$  merupakan diameter poros (m);  $x$  merupakan tebal sudu turbin (m). Sedangkan  $H$  merupakan tinggi turbin Savonius (m). Sehingga persamaan *Coefficient of Power* ( $C_p$ ) dihitung menggunakan persamaan 6.

$$C_p = \frac{P_T}{P_w} = \frac{\{(s-m)g\} \times r \cdot \omega}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3} \quad (6)$$

*Coefficient of Moment* ( $C_m$ ) merupakan perbandingan antara torsi dinamis dan torsi teoritis. Torsi teoritis sendiri dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$T_t = \frac{P_w}{\omega} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot R \cdot U^2 \quad (7)$$

Dimana  $R$  merupakan jari-jari turbin Savonius atau setengah dari panjang karakteristik (m). Sehingga  $C_m$  dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$C_m = \frac{T_d}{T_t} = \frac{T_d}{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot R \cdot U^2} \quad (8)$$

Sedangkan pada penelitian ini grafik  $C_p$  dan  $C_m$  merupakan fungsi *Tip Speed Ratio* ( $\lambda$ ) yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \quad (9)$$

Untuk *Coefficient of Static Torque* ( $C_{TS}$ ) merupakan perbandingan nilai torsi statis dengan torsi teoritis dan dapat

dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$C_{TS} = \frac{4T_s}{\rho A U^2 L} \quad (10)$$

### III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### A. Coefficient of Power

Gambar 4 menunjukkan grafik *Coefficient of Power* turbin tanpa dinding bangunan ( $C_{p0}$ ) fungsi  $\lambda$  turbin tanpa dinding bangunan untuk seluruh variasi kecepatan. Dapat dilihat pada gambar 4 bahwa grafik tersebut berbentuk parabolik ke bawah, yang mana nilai  $C_{p0}$  akan naik sampai dengan pembebanan tertentu yang menghasilkan  $C_{p0max}$  pada  $\lambda_{optimum}$  dan setelah melewati  $\lambda_{optimum}$  nilai  $C_{p0}$  akan menurun seiring dengan penambahan beban hingga turbin berhenti berputar. Pada  $U = 4$  m/s nilai  $C_{p0max} = 0,0451$  pada  $\lambda = 0,687$ ; pada  $U = 5$  m/s, nilai  $C_{p0max} = 0,0866$  pada  $\lambda = 0,717$ ; pada  $U = 6$  m/s, nilai  $C_{p0max} = 0,0693$  pada  $\lambda = 0,704$ ; pada  $U = 7$  m/s,  $C_{p0max} = 0,0632$  pada  $\lambda = 0,687$ ; pada  $U = 8$  m/s, nilai  $C_{p0max} = 0,0572$  pada  $\lambda = 0,715$  dan pada  $U = 9$  m/s, nilai  $C_{p0max} = 0,0517$  pada  $\lambda = 0,712$ . Sehingga pada gambar 4, dapat disimpulkan bahwa untuk semua variasi kecepatan angin, nilai  $\lambda_{optimum}$  yang menghasilkan nilai  $C_{p0max}$  berada di rentang 0,6-0,75.

Sedangkan untuk nilai  $C_{p0max}$ , terlihat bahwa kecepatan 5 m/s merupakan kecepatan optimum yang menghasilkan  $C_{pmax}$ . Hal ini mengindikasikan kenaikan nilai  $C_p$  tidak berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan angin. Kenaikan kecepatan angin menyebabkan adanya kerugian mekanis serta pada kecepatan angin yang tinggi juga mengakibatkan putaran turbin sangat cepat dan turbin akan membentuk *solid wall* yang membuat aliran udara seolah-olah tidak dapat menyentuh luasan sudu turbin.

Gambar 5 menunjukkan grafik komparasi  $C_{p0max}$  dan  $C_{pmax}$  untuk seluruh variasi kecepatan angin. Sama halnya dengan turbin tanpa dinding bangunan nilai  $C_{pmax}$  tertinggi berada pada  $U = 5$  m/s yaitu sebesar 0,0825, pada  $\lambda = 0,68$ . Sehingga  $U = 5$  m/s merupakan kecepatan optimum yang menghasilkan  $C_p$  maksimum.

Akan tetapi dari gambar 5 terlihat bahwa pada  $U = 4$  m/s, adanya dinding bangunan di dekat *advancing blade* turbin Savonius dengan rasio  $G/D = 1,4558$ , menghasilkan nilai kenaikan nilai  $C_p$  tertinggi dibanding kecepatan yang lain dengan kenaikan sebesar 46,56%. Hal ini dikarenakan *advancing blade* dari turbin Savonius berada di *high velocity region*, dan membuat selisih nilai torsi antara *advancing* dan *returning blade* naik sehingga daya dan *Coefficient of Power* yang dihasilkan pun meningkat dengan adanya penambahan dinding bangunan [1]. Sedangkan untuk  $U = 5$  m/s, adanya dinding bangunan dengan rasio  $G/D = 1,4558$  menunjukkan bahwa *returning blade* berada di daerah *high velocity* sedangkan *advancing blade* berada di *low velocity region* hal tersebut menyebabkan gaya *drag* di sisi *returning blade* naik dan membuat selisih nilai torsi antara *advancing blade* dan *returning blade* turun [1]. Sehingga daya yang dihasilkan turun. Sedangkan untuk kecepatan angin 7-9 m/s, menunjukkan bahwa turbin berada di *low velocity region* sehingga untuk daya nilai  $C_p < C_{p0}$ . Akan tetapi untuk  $U = 6$

gambar/s nilai  $C_p > C_{p0}$ , dikarenakan meskipun turbin berada di *low velocity region* namun terdapat *vortex* yang mengenai sudu turbin dan membuat gaya *drag* di *advancing blade* naik sehingga selisih nilai torsi antara *advancing* dan *returning blade* meningkat dan daya yang dihasilkan pun naik.

Meskipun demikian, dari gambar 5 terlihat bahwa dengan penambahan *error* 5% , pada  $U = 5$  dan  $6$  m/s terlihat bahwa *bar error* turbin tanpa dan dengan dinding bangunan *overlapped* sehingga dapat pula dikatakan bahwa pada  $U = 5$  dan  $6$  m/s turbin tanpa dan dengan dinding bangunan memiliki nilai  $C_p$  yang praktis sama.

#### B. Coefficient of Moment.

Dari Gambar 6 terlihat bahwa grafik memiliki *trendline* yang sama untuk semua variasi kecepatan udara yaitu nilai *Coefficient of Moment* turbin tanpa dinding bangunan ( $C_{m0}$ ) semakin meningkat dengan menurunnya nilai  $\lambda$ . Hal tersebut dikarenakan persamaan dari *coefficient of moment* yang berbanding lurus dengan pembebanan. Sehingga semakin besar beban yang diberikan atau selisih antara beban yang diberikan terhadap pembacaan beban pada neraca semakin besar  $|s-m|$ , maka nilai  $C_m$  pun juga semakin besar. Disisi lain semakin naiknya beban membuat putaran turbin menjadi berkurang sehingga  $\lambda$  yang dihasilkan pun semakin kecil dan membuat  $C_{m0}$  maksimal terjadi saat  $\lambda = 0$  atau ketika turbin berhenti berputar, karena pada saat  $\lambda = 0$  turbin menerima pembebanan maksimal.

Sedangkan pada gambar 6 juga terlihat bahwa kecepatan 5 m/s merupakan kecepatan optimum yang menghasilkan  $C_{m0}$  maksimal yaitu sebesar 0,2013. Hal ini terjadi karena persamaan dari  $C_{m0}$  sendiri yang berbanding terbalik dengan torsi teoritis. Sedangkan torsi teoritis memiliki rumus ( $\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot R \cdot U^2$ ) yang artinya semakin tinggi kecepatan maka semakin tinggi pula nilai torsi teoritisnya. Sehingga kecepatan udara yang tinggi akan menghasilkan nilai  $C_{m0}$  yang kecil.

Pada gambar 7 menunjukkan komparasi nilai *Coefficient of Moment* maksimum turbin Savonius tanpa dan dengan dinding bangunan sebagai fungsi kecepatan. Terlihat pada  $U = 4$  m/s, adanya dinding memberikan pengaruh paling signifikan terhadap kenaikan nilai  $C_m$  dengan kenaikan sebesar 34,11%. Hal ini dikarenakan pada  $U = 4$  m/s dengan rasio  $G/D = 1,4558$ , *advancing blade* dari turbin Savonius berada di *high velocity region*, dan membuat selisih nilai torsi antara *advancing* dan *returning blade* naik sehingga daya dan *Coefficient of Moment* yang dihasilkan pun meningkat dengan adanya penambahan dinding bangunan [1].

Sedangkan pada  $U = 5$  m/s dengan rasio  $G/D = 1,4558$ , menunjukkan bahwa *returning blade* berada di daerah *high velocity* sedangkan *advancing blade* berada di *low velocity region* hal tersebut menyebabkan gaya *drag* di sisi *returning blade* naik dan membuat selisih nilai torsi antara *advancing blade* dan *returning blade* turun. Sedangkan pada penelitian ini  $C_m > C_{m0}$  meskipun perbedaannya sangat kecil sehingga kemungkinan hal ini disebabkan karena adanya *uncertainty* pengukuran. Apabila pada grafik ditambahkan *error* 5% terlihat bahwa *bar error*  $C_m$  dan  $C_{m0}$  pada kecepatan 5 m/s saling berimpit sehingga menandakan nilai  $C_m$  dan  $C_{m0}$  praktis sama. Pada kecepatan 6-9 m/s turbin berada di *low*

*velocity region* sehingga didapatkan nilai  $C_m < C_{m0}$ . Akan tetapi untuk  $U = 6$  m/s nilai  $C_m > C_{m0}$ , dikarenakan meskipun turbin berada di *low velocity region* akan tetapi terdapat *vortex* yang mengenai sudu turbin dan membuat gaya *drag* di *advancing blade* naik sehingga selisih nilai torsi antara *advancing* dan *returning blade* meningkat dan daya yang dihasilkan pun naik. Meskipun demikian kenaikannya tidak terlalu signifikan. Ketika ditambahkan *error* 5% terlihat bahwa *error bar* antara turbin tanpa dan dengan *overlapped* sehingga dapat juga dikatakan bahwa nilai  $C_m$  dan  $C_{m0}$  pada  $U = 6$  m/s praktis sama.

#### C. Diagram Proses Coefficient of Static Torque ( $C_{TS}$ )

Gambar 8 menunjukkan grafik *Coefficient of Static Torque* turbin Savonius tanpa dinding bangunan ( $C_{TS0}$ ) terhadap  $\theta$  dimana terlihat bahwa seluruh kecepatan memiliki nilai  $C_{TS0}$  maksimal pada sudut  $30^\circ$ , sedangkan pada sudut  $140^\circ$  memiliki nilai  $C_{TS0}$  terendah. Hal ini dikarenakan pada sudut  $30^\circ$ , *advancing blade* memiliki posisi yang lebih dekat dengan arah datangnya angin, sedangkan *returning blade* menjauhi datangnya angin, sehingga gaya *drag* yang mengenai sisi *advancing blade* meningkat dan membuat selisih torsi yang dihasilkan pun meningkat. Sedangkan di sudut  $140^\circ$ , *returning blade* mendekati arah datangnya angin sehingga gaya *drag* yang mengenai *returning blade* lebih besar dari *advancing blade*, maka selisih nilai torsi yang dihasilkan menjadi negatif. Nilai  $C_{TS0}$  yang negatif pada beberapa sudut *blade* menunjukkan bahwa turbin tidak mampu melakukan *self starting* pada sudut tersebut. Dari gambar 8 juga terlihat bahwa pada kecepatan 4 m/s memiliki kemampuan *self starting* paling buruk dibanding kecepatan yang lain dikarenakan area torsi negatif yang terbentuk paling luas. Hal ini dikarenakan semakin rendah kecepatan udara, maka energi kinetik untuk memutar turbin semakin kecil.

Sedangkan pada gambar 9 merupakan grafik  $C_{TS}$  Fungsi Sudut *Blade* Turbin Angin Savonius ( $\theta$ ) untuk Seluruh Variasi Kecepatan dimana pada grafik tersebut terlihat bahwa dengan adanya penambahan dinding bangunan di dekat *advancing blade* menggunakan rasio  $G/D = 1,4558$  menunjukkan adanya penyempitan area pada torsi negatif di *range* sudut  $90^\circ < \theta < 180^\circ$ . Sehingga penambahan dinding bangunan di dekat *advancing blade* mampu menaikkan kemampuan *self starting* turbin Savonius untuk seluruh variasi kecepatan.

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisa data dengan dilakukannya penelitian mengenai peletakan dinding bangunan di dekat *advancing blade* dari turbin savonius dengan rasio  $G/D = 1,4558$  dan pada variasi kecepatan 4; 5; 6;7; 8 dan 9 m/s, maka dapat ditarik kesimpulan: (1) *Coefficient of Power* maksimum dengan peletakan dinding bangunan di dekat *advancing blade* turbin Savonius dengan  $G/D = 1,4558$  adalah sebesar 0,0825 di  $\lambda = 0,668$  pada kecepatan 5 m/s. Serta didapatkan pula nilai *Coefficient of Moment* maksimum sebesar 0,2155 di  $\lambda = 0$  pada kecepatan 5 m/s dan nilai *Coefficient of Static Torque* maksimum sebesar 1,667 di sudut  $30^\circ$  pada kecepatan 4 m/s. (2) Adanya peletakan dinding di dekat sisi *advancing blade* dari turbin Savonius dengan  $G/D = 1,4558$  dapat meningkatkan nilai

*Coefficient of Power* dan *Coefficient of Moment* maksimum pada kecepatan 4 m/s dengan kenaikan *Coefficient of Power* sebesar 46,56% sedangkan kenaikan *Coefficient of Moment* sebesar 34,11%. (3) Adanya peletakan dinding di dekat sisi *advancing blade* dari turbin Savonius dengan  $G/D = 1,4558$  dapat meningkatkan kemampuan *self starting* turbin Savonius pada seluruh kecepatan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mao, Zhaoyong, Guangyong Yang, Tianqi Zhang, and Wenlong Tian. 2020. "Aerodynamic performance analysis of a building-integrated savonius turbine". *Energies* 13 (10): 2636.
- [2] N.H. Mahmoud, A. A. El-Haroun, E. Wahba, and M.H. Nasef. 2010. "An experimental study on improvement of savonius rotor performance". *Renewable Energy* 35: 2618-2626.
- [3] Park, Jeoungsu, Hyung Jo Jung, Seung Woo Lee, and Jiyoung Park. 2015. "A new building-integrated wind turbine system utilizing the building". *Energies* 8 (10): 11846-70.
- [4] Casini, Marco. 2015. "Small vertical axis wind turbines for energy efficiency of buildings". *Journal of Clean Energy Technologies* 4 (1): 56-65. INDI CANTIK