



**SIMULASI DAN PERANCANGAN BILAH TURBIN ANGIN SAVONIUS
HELIKS DENGAN MEMANFAATKAN FENOMENA ANGIN
PADA GEDUNG TINGGI**

**SAVONIUS HELICAL WIND TURBINE SIMULATION AND DESIGN BY
UTILIZING WIND PHENOMENON ON A HIGH BUILDING**

Muhammad Irfan*

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Bekasi, Indonesia
email: irfanhandsome95@gmail.com*

Received:
7 Februari 2022

Accepted:
27 Juni 2022

Published:
27 Juni 2022

© 2022 SJME
Kinematika All
Rights Reserved.

Abstrak

Bentuk topografi bumi yang tidak rata menyebabkan banyaknya terjadi fenomena yang dapat membelokkan dan mengubah karakter kecepatan angin. Fenomena ini dapat terjadi karena faktor alam dan faktor campur tangan manusia. Hadirnya kompleks gedung tinggi menjadi salah satu penyebab terjadinya fenomena *downwash* dan *venturi effect*. Kedua fenomena tersebut terkenal karena menghasilkan hembusan angin yang cukup signifikan untuk mengganggu kenyamanan pejalan kaki. Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis akan menghitung perubahan karakter kecepatan angin dengan pengaruh kedua fenomena tersebut sebagai potensi energi penggerak untuk tiga varian turbin angin sumbu vertikal tipe heliks dengan media simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Proses simulasi terbagi menjadi dua tahap, yang pertama penulis menjalankan simulasi pengaruh fenomena angin terhadap karakter kecepatan angin alami, yang menunjukkan adanya peningkatan kecepatan angin sebesar 40%. Dan yang terakhir yaitu simulasi keluaran daya masing – masing varian turbin angin dengan menggunakan data kecepatan angin pada tahap sebelumnya. Hasilnya menunjukkan bahwa turbin angin sumbu vertikal tipe heliks dengan variasi bilah normal dapat menghasilkan daya optimal sebesar 447,8 watt.

Kata Kunci: turbin angin sumbu vertikal (TASV), *downwash*, *venturi effect*, *computational fluid dynamics* (CFD)

Abstract

The shape of the earth's uneven topography causes many phenomena to occur that can deflect and change the character of wind speed. This phenomenon can occur due to natural factors and human intervention factors. The presence of a high-rise building complex is one of the causes of the downwash and venturi effect phenomena. Both phenomena are famous for producing wind gusts that are significant enough to disturb pedestrian comfort. Therefore, in this study the author will calculate the change in wind speed character with the influence of these two phenomena as the potential driving energy for three variants of helical type vertical axis wind turbines with Computational Fluid Dynamic (CFD) simulation media. The simulation process is divided into two stages, the first is the author runs a simulation of the effect of wind phenomena on the natural

wind speed character, which shows an increase in wind speed of 40%. And the last is a simulation of the power output of each wind turbine variant using wind speed data in the previous stage. The results show that a helical type vertical axis wind turbine with a normal blade can produce an optimal power of 447,8 watt.

Keywords: vertical axis wind turbine (VAWT), downwash, venturi effect, computational fluid dynamics (CFD)

DOI:10.20527/sjmekinematika.v7i1.211

How to cite: Irfan, M., "Simulasi dan Perancangan Bilah Turbin Angin Savonius Heliks dengan Memanfaatkan Fenomena Angin pada Gedung Tinggi". *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 7(1), 9-27, 2022'

PENDAHULUAN

Kecepatan angin pada permukaan bumi dipengaruhi oleh beberapa faktor eksternal, salah satunya adalah jenis topografi yang dilalui angin. Kehadiran hambatan non – alami seperti dinding gedung tinggi dan celah antara gedung memungkinkan munculnya fenomena *wind tunnel* yang dapat mengubah karakteristik pada angin yang melewati area tersebut. *Downwash* dan *venturi effect* merupakan beberapa contoh dari *wind tunnel effect*. Dua fenomena ini terkenal karena menghasilkan hembusan angin yang cukup signifikan yang dapat mengganggu kenyamanan para pejalan kaki [1].

Angin yang telah dipengaruhi oleh dua fenomena angin di atas mengalami perubahan karakteristik kecepatan yang memiliki potensi energi yang cukup besar. Akan tetapi penulis belum menemukan penelitian yang berfokus dalam pemanfaatan dua fenomena di atas sebagai sumber energi alternatif. Dengan menggunakan program *Computational Fluids Dynamic* (CFD), penulis akan menghitung perubahan karakteristik kecepatan angin dan potensi energi yang dimiliki angin dengan pengaruh *downwash* dan *venturi effect* dengan menghitung daya yang dihasilkan oleh turbin angin yang digerakkan oleh angin ini.

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) menjadi pilihan yang tepat untuk pemanfaatan fenomena angin di atas. Jenis turbin ini merupakan jenis turbin angin yang paling banyak diminati pada daerah urban dan perumahan karena turbin jenis ini dapat dipasang di atap maupun dekat dengan tanah. Selain karena sistem operasinya yang bersifat *omni directional* (segala arah), turbin ini juga dapat beroperasi pada kecepatan rendah dan kecepatan tinggi di mana turbin angin sumbu horizontal harus dinon-aktifkan demi faktor keselamatan [2] serta turbin ini tidak memerlukan energi untuk memulai putaran awal.

Pada penelitian ini penulis menggunakan turbin angin sumbu vertikal (TASV) tipe heliks, karena selain efisiensi yang tinggi, turbin ini tidak memiliki mekanisme *yaw* untuk mengarahkan turbin menuju arah tiupan angin yang menjadi salah satu alasan mengapa jenis turbin ini lebih murah, lebih sederhana dan berukuran lebih kecil dibanding jenis sumbu horizontal [3] Jenis turbin ini juga minim polusi suara berkat desain sudu yang berbentuk heliks yang memungkinkan penyebaran torsi yang merata pada tiap *bucket* [4] dan desainnya yang estetik menjadikan turbin ini lebih sedap dipandang mata.

1. Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan sebagai mesin konversi energi untuk mengubah energi angin menjadi bentuk energi lain. Ada awalnya turbin angin ini dibuat untuk memenuhi kebutuhan para petani seperti penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain - lain. Dahulu turbin angin banyak digunakan di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya, dan lebih dikenal dengan *windmill* [5].

2. Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) memiliki poros rotor utama yang disusun tegak lurus sehingga turbin ini dapat beroperasi secara *omni directional* (segala arah). Dengan sistem ini, turbin angin dapat menghasilkan keluaran yang optimal walaupun tiupan angin bervariasi. TASV mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah [2].

Dengan sumbu vertikal, instrumen lain seperti generator dan baterai dapat ditempatkan dekat dengan tanah. Jadi menara tidak perlu menanggung beban tambahan dan mempermudah akses pemeliharaan. Akan tetapi hal ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. Drag (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida) bisa saja tercipta saat kincir berputar.

Jika dilihat dari prinsip aerodinamik rotor yang digunakan, turbin angin sumbu vertikal dibagi menjadi dua bagian yaitu:

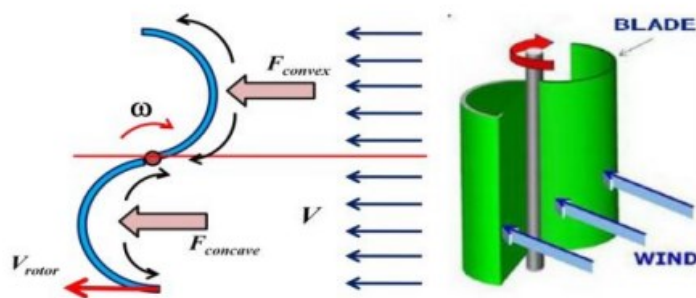
- **Turbin angin darrieus**

Turbin angin Darrieus atau yang lebih dikenal sebagai turbin *eggbeater*. Turbin angin Darrieus pertama kali ditemukan oleh Georges Darrieus pada tahun 1920-an. Turbin angin Darrieus merupakan turbin angin yang menggunakan prinsip aerodinamik. Dengan memanfaatkan gaya *lift* pada penampang sudu rotornya dalam mengekstrak energi angin [3].

Turbin Darrieus memiliki revolusi per menit yang lebih tinggi dari pada jenis Savonius yang menjadikan turbin ini lebih diutamakan dalam menghasilkan listrik. Namun turbin ini membutuhkan energi awal untuk putaran awal. Variasi rotor turbin Darrieus umumnya disebut turbin H dan memiliki 2 – 3 buah sudu.

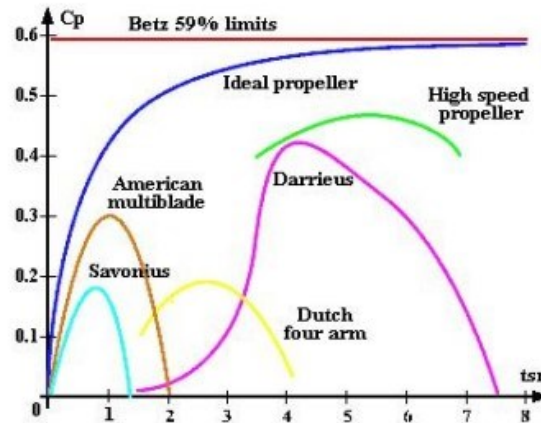
- **Turbin angin savonius**

Rotor Savonius dikembangkan pertama kali oleh Sigurd Savonius pada tahun 1922. Savonius banyak digunakan sebagai sebuah rotor, di mana bentuknya dibuat dari sebuah silinder yang dipotong pada sumbu bidang sentral menjadi dua bagian. Dan bagian tersebut disusun menyilang menyerupai huruf S [3].



Gambar 1. Turbin Savonius Standar [3]

Gambar 1 mengilustrasikan prinsip kerja turbin angin sumbu vertikal. Udara ditangkap pada bagian cekung bilah dan memutar turbin. Aliran angin yang menabrak bagian cembung menghasilkan gaya *drag* yang lebih kecil. Perbedaan gaya *drag* inilah yang menyebabkan turbin berputar [3].



Gambar 2. Efisiensi Kerja Turbin Angin Konvensional [6]

Gambar 2 adalah grafik performa dari beberapa turbin angin konvensional yang paling banyak digunakan. Pada Gambar 2 menunjukkan kurva hubungan antara rasio perbandingan daya turbin dengan daya angin (C_p), sebagai fungsi dari *speed ratio* λ atau perbandingan kecepatan turbin angin dengan kecepatan angin. Kurva tersebut menunjukkan bahwa turbin angin sumbu horizontal (*two- or three- bladed airscrew*) memiliki efisiensi terbaik dibandingkan dengan turbin angin lainnya. Di sisi lain turbin savonius sumbu vertikal memiliki efisiensi yang lebih rendah, yaitu pada nilai λ 1.0 dihasilkan C_p 0.2.

Kelebihan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) [7]:

- 1) Tidak membutuhkan struktur menara yang besar
- 2) Sebuah TASV bisa diletakkan lebih dekat ke tanah. Membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
- 3) TASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH. Biasanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10 kmh.
- 4) TASV biasanya memiliki *tip speed ratio* (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah. Sehingga menghasilkan putaran yang tidak berisik
- 5) TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi di mana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
- 6) TASV yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi. Yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit).
- 7) TASV beroperasi secara *omni directional* (segala arah)
- 8) TASV ramah marga satwa

Kekurangan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) [7]:

- 1) TASV memproduksi energi lebih kecil jika dibandingkan dengan TASH karena pengaruh gaya *drag* yang dapat mempengaruhi kecepatan putar rotor
- 2) Angin pada elevasi tinggi tidak mempengaruhi keluaran dari TASV
- 3) Sebuah TASV yang menggunakan kabel untuk menyanggahnya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan. Kabel yang dikaitkan ke puncak bantalan meningkatkan daya dorong ke bawah saat angin bertiup.

3. Savonius dengan Rotor Heliks

Rotor Savonius tipe ini pertama kali dikenalkan tahun 2006 oleh suatu perusahaan bernama “*Helix Wind*”. Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3, rotor ini memiliki desain yang sedikit rumit jika dibandingkan dengan jenis rotor lainnya, yaitu berbentuk heliks. Namun bentuk heliks ini memungkinkan variasi torsi yang merata di semua *bucket*nya, sehingga tipe rotor ini memiliki putaran yang lebih halus.



Gambar 3. Rotor Savonius Berbentuk Heliks [4]

Selanjutnya geometri turbin ini dapat dipadukan dengan beberapa konfigurasi turbin savonius. Jenis konfigurasi ini dapat berupa bentuk bilah profil U, profil S dan profil L yang memiliki keluaran daya paling optimal [8].

4. Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)

Sistem konversi energi angin merupakan suatu sistem yang bertujuan untuk mengubah energi potensial angin menjadi energi mekanik poros oleh rotor. Untuk kemudian diubah lagi oleh alternator menjadi energi listrik. Prinsip utamanya adalah mengubah energi listrik yang dimiliki angin menjadi energi kinetik poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area dan kecepatan angin. Hal ini selanjutnya akan dibahas melalui persamaan-persamaan. Energi kinetik untuk suatu massa angin m yang bergerak dengan kecepatan v yang nantinya akan diubah menjadi energi poros dapat dirumuskan sebagai berikut [4]:

$$E = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1)$$

di mana:

E : Energi Kinetik (Joule)

M : massa udara yang bergerak (kg)

v : kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor. Dengan menganggap suatu penampang melintang A , di mana udara dengan kecepatan v mengalami pemindahan volume untuk setiap satuan waktu, yang disebut dengan aliran volume V sebagai persamaan [4]:

$$V = vA \quad (2)$$

di mana:

V : laju volume (m^3/s)

v : kecepatan angin (m/s)

A : luas area sapuan rotor (m^2)

Sedangkan aliran massa dengan kecepatan udara v sebagai [9]:

$$m = \rho Av \quad (3)$$

di mana:

m : aliran massa (kg/s)

ρ : densitas udara (ρ rata-rata : $1,2 \text{ kg/m}^3$)

Persamaan-persamaan di atas menunjukkan energi kinetik dan aliran massa yang melewati suatu penampang melintang A sebagai energi P yang ditunjukkan dengan menyubstitusi persamaan (3) ke persamaan (1) menjadi [9]:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (4)$$

di mana:

P : daya mekanik atau daya angin (W)

v : kecepatan angin (m/s)

ρ : densitas udara (ρ rata-rata : $1,2 \text{ kg/m}^3$)

Karena setiap jenis turbin angin mempunyai karakteristik aerodinamika yang unik, maka faktor daya sebagai fungsi dari *Tip Speed Ratio* (TSR) untuk setiap jenis turbin angin juga berbeda-beda. Dengan memasukkan faktor daya *Coefficient of power* (C_p), sebagaimana dijelaskan sebelumnya, gaya mekanik aktual yang dapat diperoleh dari energi kinetik pada angin menjadi [4]:

$$P = C_p \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (5)$$

Parameter utama yang mempengaruhi C_p adalah: jumlah bilah sudu, panjang *chord* bilah sudu, karakteristik aerodinamis bilah sudu. NREL menambahkan kemampuan sebuah SKEA juga dibatasi oleh rugi-rugi pada generator dan sistem transmisi.

5. *Tip Speed Ratio*

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, *tip speed ratio* akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. Turbin angin tipe *lift* akan memiliki *tip speed ratio* yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin tipe *drag*. *Tip speed ratio* dihitung dengan persamaan [10]:

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v} \text{ atau } \lambda = \frac{w.r}{v} \quad (6)$$

di mana:

λ : *tip speed ratio*

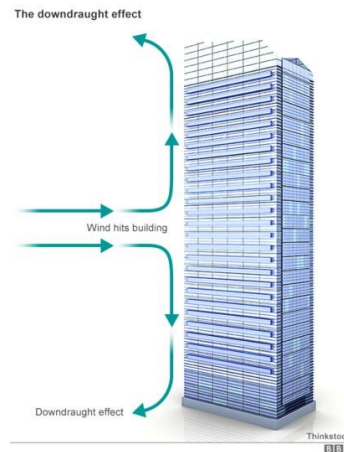
D : diameter rotor (m)

n : putaran rotor (rpm)

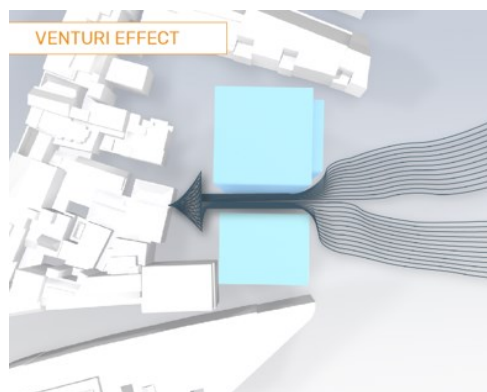
v : kecepatan angin (m/s)
 w : kecepatan sudut (rad/s)
 r ; jari – jari rotor (m)

6. *Downwash dan Venturi Effect*

Karakteristik kecepatan angin pada permukaan bumi dipengaruhi oleh topografi permukaan yang akan dilaluinya dan ketinggian angin tersebut, semakin tinggi h maka kecepatan angin v akan semakin tinggi juga [11]. Ketika angin dengan ketinggian h mengenai dinding dari sebuah penghalang, sebagian besar angin akan dibelokkan menuju permukaan bumi dan dipercepat karena semakin tinggi sebuah dinding penghalang maka paparan angin dengan kecepatan tinggi akan semakin besar yang menyebabkan semakin banyak *volume* angin yang dibelokkan, fenomena ini disebut *downwash* atau *downdraught*, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Fenomena *Downwash* [1]



Gambar 5. Fenomena *Venturi Effect* [12]

Fenomena downwash banyak terjadi pada area perkantoran dengan gedung - gedung tinggi yang rata - rata memiliki design *non-streamline rectangular shaped building*. Fenomena *downwash* memiliki tingkatan lanjutan yang muncul ketika dua gedung yang saling berdekatan memiliki ketinggian yang berbeda yang dipisah oleh sebuah celah kecil seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5, celah tersebut menciptakan zona yang lebih kecil bagi angin untuk melintas yang menyebabkan terjadi pengecilan celah yang menyebabkan terjadinya *venturi effect*. Kedua fenomena ini disebut *wind tunnel effect* yang dapat menyebabkan terjadinya peningkatan angin yang signifikan yang dapat berefek pada konstruksi bangunan dan kenyamanan para pejalan kaki [13].

7. *Computational Fluid Dynamic (CFD)*

CFD merupakan suatu sistem analisa yang menyertakan aliran fluida, perpindahan panas dan yang berhubungan seperti reaksi kimia dengan simulasi berdasarkan komputer. CFD pada perhitungannya menggunakan metode perhitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap - tiap elemen pembagiannya, atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida. Adapun perangkat lunak CFD yang sering digunakan salah satu di antaranya yaitu; *Fluent*. *Software CFD Fluent* adalah salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. *Fluent* menyediakan fleksibilitas mesh yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan mesh yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. Jenis *mesh* yang didukung oleh *Fluent* adalah tipe 2D *triangular-quadrilateral*, 3D *tetrahedral-hexahedralpyramid-wedge*, dan *mesh* campuran [14].

METODE PENELITIAN

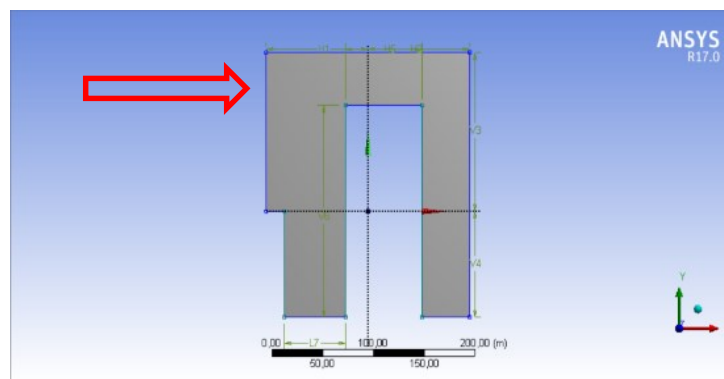
Adapun sistematika yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahapan ini penulis mengkaji teori - teori yang berhubungan dengan turbin angin dan fenomena angin yang akan diteliti dari berbagai sumber seperti jurnal, skripsi dan situs - situs internet yang berhubungan dengan topik penelitian ini.

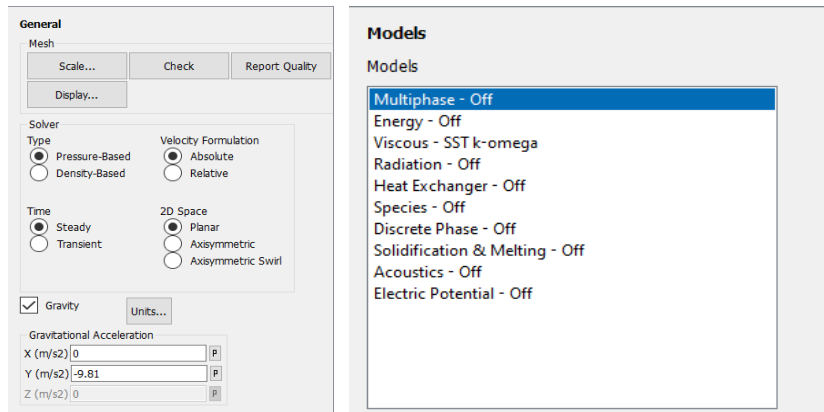
2. Simulasi Data Angin

Pada tahap ini penulis akan menjalankan tahap simulasi fenomena angin terhadap angin dengan kecepatan 10 m/s. Seperti yang dapat dilihat pada gambar, penulis menggunakan geometri gedung yang saling bersebelahan yang dipisah oleh sebuah celah.



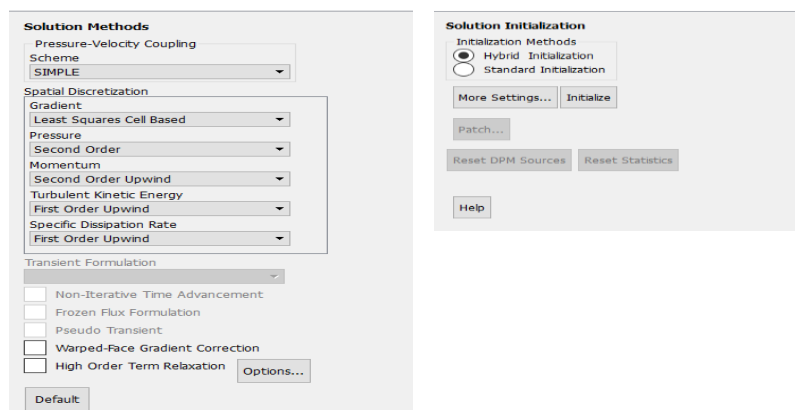
Gambar 6. Geometri Gedung Simulasi Data Angin

Pada Gambar 6. gedung tertinggi memiliki ketinggian 200 m dan gedung terendah 100 m, gedung dipisah oleh celah sepanjang 60 m. Panah merah pada gambar 7 menunjukkan arah tiupan angin. Perubahan karakter kecepatan angin karena pengaruh *downwash* dan *venturi effect* akan diukur pada celah pemisah sepanjang 60 m di antara dua gedung tersebut. Untuk pengaturan pada ANSYS, penulis menggunakan pengaturan *time: steady*, permodelan viskositas SST k-omega dan percepatan gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$ seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7.



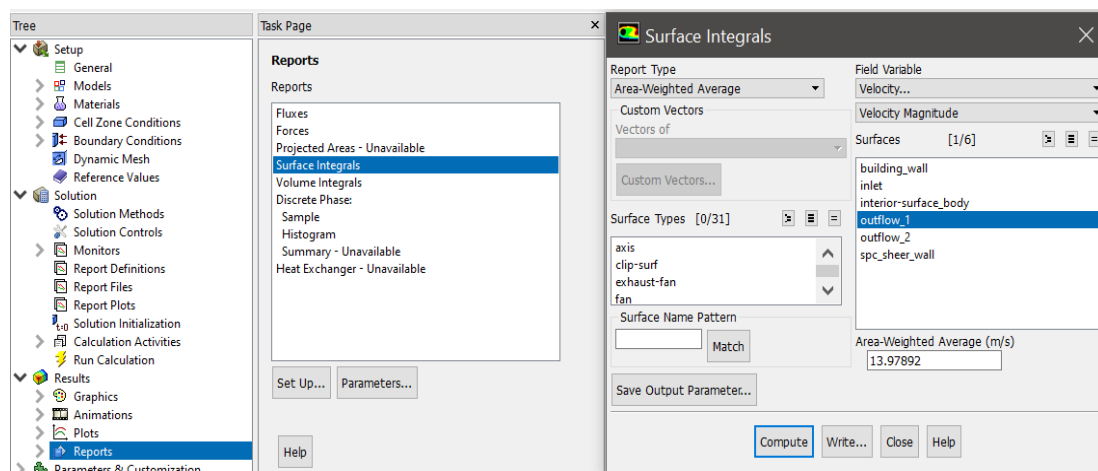
Gambar 7. Pengaturan *General* dan *Models* ANSYS

Pada bagian *solution methods* penulis menggunakan skema SIMPLE dan *hybrid initialization* seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. *Solution Method* dan *Initialization*

Proses simulasi selesai setelah seratus iterasi, hasil simulasi dapat dilihat pada sub bagian *reports - surface integral - area weighted average* dengan variable bidang *velocity* dan *velocity magnitude* yang dapat kita lihat pada Gambar 9.

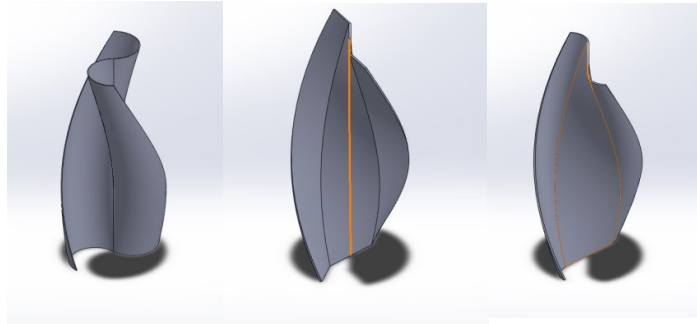


Gambar 9. *Reports Surface Integrals*

3. Perancangan Bilah TASV

Penulis menggunakan sebuah program permodelan 3D untuk merancang bilah TASV untuk digunakan dalam tahap simulasi. Pada penelitian ini penulis menggunakan metoda VDI 2221 dan data simulasi untuk memilih varian bilah TASV yang memiliki performa terbaik. Penulis menggunakan turbin angin rotor savonius tipe bilah heliks dengan 3 variasi bilah seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 10 dengan spesifikasi:

- Diameter sudu = 60 cm
- Tinggi turbin = 150 cm
- Ketebalan sudu = 1 cm



Gambar 10. Variasi TASV Bilah Heliks

Dari Gambar 10 dapat dilihat dari sebelah kiri yaitu TASV sederhana dengan menggunakan geometri setengah lingkaran yang disusun saling berseberangan. Gambar bagian tengah merupakan TASV dengan bilah lengan bersudut dan terakhir TASV dengan bilah gabungan lengan dan setengah lingkaran.

a. TASV Setengah Lingkaran

Turbin ini memiliki luas penampang $A = 1,45 \text{ m}^2$ dan digerakkan oleh angin dengan kecepatan 14 m/s. Sehingga energi angin yang dihasilkan:

$$P_{angin} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P_{angin} = \frac{1,225 \cdot 1,45 \cdot (14)^3}{2} = 2437 \text{ Watt}$$

Dengan mengasumsikan turbin ideal, penulis menggunakan $C_p = 0,2$ untuk mendapatkan daya keluaran turbin.

$$P_{turbin} = C_p \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P_{turbin} = 0,2 \cdot 2437 = 487,4 \text{ Watt}$$

b. TASV Lengan Bersudut

Turbin ini memiliki luas penampang $A = 1 \text{ m}^2$ dan digerakkan oleh angin dengan kecepatan 14 m/s. Sehingga energi angin yang dihasilkan:

$$P_{angin} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P_{angin} = \frac{1,225 \cdot 1 \cdot (14)^3}{2} = 1680,7 \text{ Watt}$$

Dengan mengasumsikan turbin ideal, penulis menggunakan $C_p = 0,2$ untuk mendapatkan daya keluaran turbin.

$$P_{turbin} = C_p \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P_{turbin} = 0,2 \cdot 1680,7 = 336,14 \text{ Watt}$$

c. TASV Gabungan Lengan dan Setengah Lingkaran

Turbin ini memiliki luas penampang $A = 1,08 \text{ m}^2$ dan digerakkan oleh angin dengan kecepatan 14 m/s . Sehingga energi angin yang dihasilkan:

$$P_{angin} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P_{angin} = \frac{1,225 \cdot 1,08 \cdot (14)^3}{2} = 1815,15 \text{ Watt}$$

Dengan mengasumsikan turbin ideal, penulis menggunakan $C_p = 0,2$ untuk mendapatkan daya keluaran turbin.

$$P_{turbin} = C_p \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$P_{turbin} = 0,2 \cdot 1815,15 = 363,03 \text{ Watt}$$

4. Simulasi Turbin Angin

a. Pembuatan Geometri

Langkah pertama sebelum memulai simulasi CFD adalah pembuatan geometri turbin angin dan *wind tunnel*. Pada tahap ini penulis mengimpor rancangan bilah turbin yang telah penulis rancang pada tahap sebelumnya.

- *Boolean*

Pada tahap ini penulis menciptakan zona perputaran turbin yang akan dinamakan *rotating zone* dan zona *wind tunnel* yang akan dinamakan *stationary zone*.

- *Penamaan Bidang Objek*

Penamaan bidang pada objek untuk keperluan simulasi pada tahap berikutnya, nama – nama bidang yang diperlukan meliputi *inlet* untuk memasukkan kecepatan angin, *outlet* lokasi keluar angin dari *wind tunnel* dan *sheer wall* yang berupa dinding pemisah antara zona *wind tunnel* dan lingkungan luar.

b. Proses *Meshing*

Pada tahap ini penulis memvariasikan jumlah *mesh* dengan menggunakan opsi *element size* untuk memastikan hasil simulasi yang akurat. Independensi *mesh* tercapai ketika hasil simulasi tidak berubah walaupun jumlah *mesh* diubah.

c. Proses *Set – up*

Pada tahap ini dilakukan beberapa pengaturan pada ANSYS terkait permasalahan yang akan dianalisis.

- *General*

Pada menu *general* akan ditentukan jenis simulasi yang akan digunakan, pada penelitian ini penulis menggunakan pengaturan waktu simulasi *steady* dan menggunakan tipe *pressure based*.

- *Models*

Untuk jenis permodelan, penulis menggunakan permodelan SST k – omega, karena jenis permodelan ini mampu memprediksi pemisahan aliran secara akurat dan menganalisis aliran berotasi dengan baik.

- *Materials*

Pada menu *Materials* terdapat pilihan jenis material yang akan digunakan pada simulasi. Jenis material terbagi ke dalam dua jenis, yaitu *solid* dan *fluid*. Material *solid* terdiri dari tembaga, aluminium, kaca, silikon, kayu, dan lain - lain. Sedangkan material *fluid* terdiri dari *water-liquid*, *water-vapor*, air dan lain - lain. Pada penelitian kali ini penulis menggunakan udara sebagai fluida dan aluminium sebagai bahan *solid*.

- *Cell Zone Conditions*

Cell zone conditions berisi daftar zona sel yang dibutuhkan. Pada tahap ini masing-masing zona yang sudah dibuat sebelumnya pada tahap *boolean* pada geometri akan muncul. Pada zona *rotating region*, kecepatan sudut turbin akan direkayasa sesuai kebutuhan simulasi.

- *Boundary Conditions*

Pada bagian ini data kecepatan angin yang telah didapatkan sebelumnya akan dimasukkan pada bagian *inlet*, yaitu sebesar 14 m/s.

- *Mesh Interface*

Mesh interface digunakan untuk menyatukan antara *stationary zone* dan *rotating zone* agar tidak terjadi zona yang terbatas, maka dalam penelitian ini menggunakan *interface tipe matching*.

d. *Proses Solution*

- *Solution Methods*

Pada bagian ini penulis menggunakan skema *SIMPLE*

- *Report Definitions*

Pada bagian ini penulis mengatur parameter laporan yang dibutuhkan, pada penelitian ini penulis mengatur agar laporan menampilkan nilai torsi yang dihasilkan. Dengan menciptakan jenis laporan baru melalui menu *new > force report > moment*. Lalu memasukkan *moment center* dan *moment axis* turbin yang kemudian akan digunakan untuk menghitung nilai torsi setelah simulasi selesai.

- *Solution Initialization*

Penulis menggunakan *Hybrid initialization*

- *Run Calculation*

Pada tahap ini disesuaikan jumlah iterasi yang dibutuhkan, pada penelitian kali ini penulis menggunakan 100 iterasi.

e. *Proses Results*

Setelah proses simulasi menyelesaikan 100 iterasi, penulis mendapatkan nilai torsi dengan memeriksa laporan yang telah dibuat pada bagian *report definitions*.

5. Pemilihan Design TASV

Setelah semua nilai daya masing – masing varian bilah TASV didapatkan, penulis membandingkan nilai *Coefficient of power* (C_p) hasil simulasi dengan teori yang penulis dapatkan pada tahap tinjauan pustaka. Untuk jenis turbin angin ini mempunyai C_p ideal sebesar 0,2. Dengan menggunakan pedoman C_p 0,2 penulis melanjutkan proses simulasi hingga nilai C_p tidak melebihi angka 0,2. Yang kemudian akan menjadi acuan dalam memilih jenis varian turbin yang memiliki daya paling besar di antara jenis lainnya.

6. Validasi Simulasi

Suatu simulasi dapat diterima atau diakui apabila sudah dilakukan validasi hasil simulasi. Setidaknya ada tiga cara melakukan validasi hasil simulasi

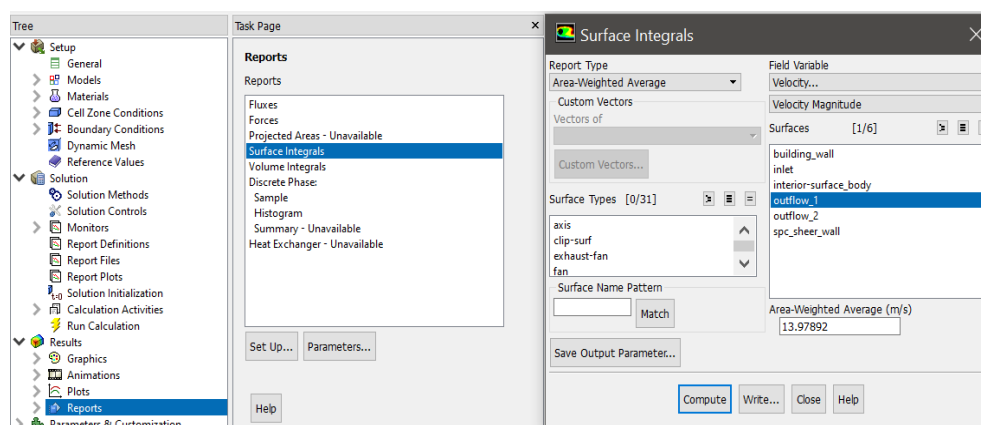
- Membandingkan hasil simulasi dengan hasil analitis. Yang dimaksud dengan hasil analitis adalah, hasil perhitungan manual dengan menggunakan teori – teori yang berhubungan dengan penelitian. Jika penulis tidak menggunakan hasil analitis pribadi, data dapat divalidasi dengan menggunakan data analitis dari penelitian terdahulu yang memiliki parameter yang sama.
- Membandingkan hasil simulasi dengan hasil eksperimen. Juga dapat menggunakan data hasil eksperimen penelitian terdahulu dengan parameter yang sama.
- Membandingkan hasil simulasi dengan hasil simulasi lain yang menggunakan perangkat lunak yang berbeda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) akan ditampilkan pada bab ini. Hasil simulasi akan dibahas untuk mengetahui geometri bilah yang menghasilkan daya optimal dengan memanfaatkan angin dengan pengaruh fenomena *downwash* dan *venturi effect*.

1. Simulasi Data Angin

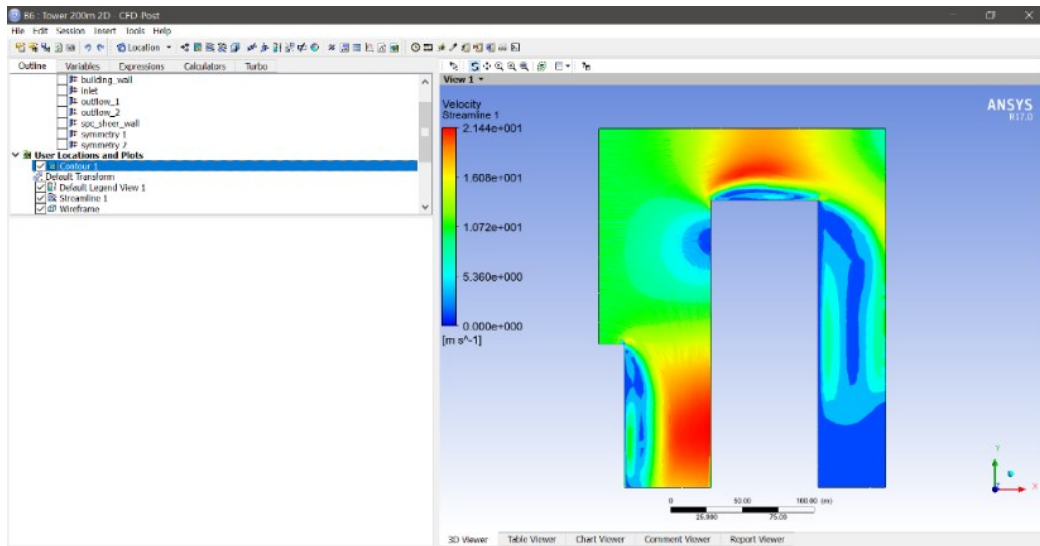
Proses simulasi selesai setelah seratus iterasi, hasil simulasi dapat dilihat pada sub bagian *reports - surface integral - area weighted average* dengan variabel bidang *velocity* dan *velocity magnitude* yang dapat kita lihat pada Gambar 11.



Gambar 11. *Reports Surface Integrals*

Pada Gambar 11, setelah pengaturan *report type* dan *field variable* diisi. *Outflow_1* pada bagian *surfaces* dipilih untuk menghitung kecepatan angin pada celah pemisah dua gedung. Kemudian opsi *compute* dipilih untuk menampilkan data kecepatan angin dengan

pengaruh fenomena *downwash* dan *venturi effect*. Gambar 11. menunjukkan perubahan karakteristik angin yang dipengaruhi fenomena *downwash* dan *venturi effect*.



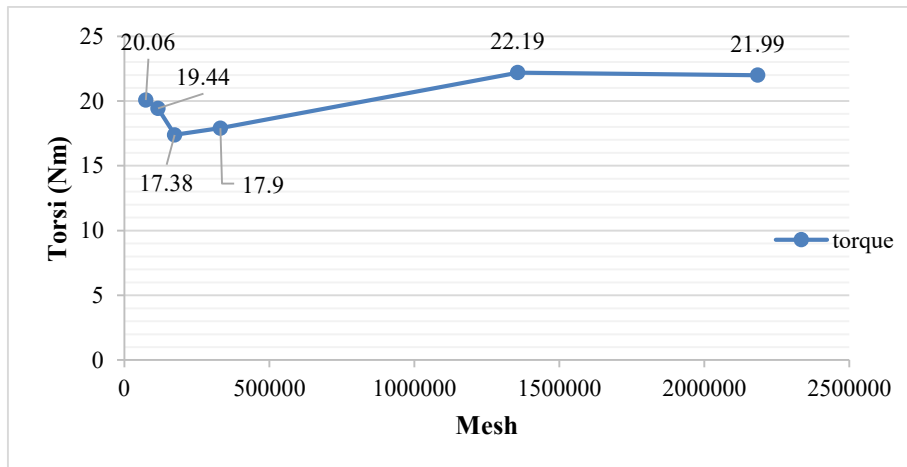
Gambar 12. Kontur Kecepatan Angin

Pada Gambar 12 terlihat adanya perubahan kecepatan angin karena pembelokan arah angin ke bawah oleh kehadiran gedung dan penyempitan penampang aliran angin yang menyebabkan peningkatan kecepatan angin pada celah pemisah kedua gedung sebesar 40%, dari kecepatan semula yang hanya 10 m/s menjadi 14 m/s.

2. Simulasi Turbin Angin Sumbu Vertikal

a. Independensi *Mesh*

Independensi *mesh* merupakan metode yang digunakan untuk menetapkan jumlah sel pada jaring yang diperlukan untuk mendapatkan nilai konvergensi tertentu sampai dengan penambahan jumlah sel tidak akan menghasilkan kenaikan akurasi hasil yang signifikan. Pada penelitian kali ini penulis menggunakan *element size* sebagai variabel pengubah jumlah *mesh*.



Gambar 14. Independensi *Mesh*

Gambar 14 menunjukkan hubungan antara jumlah *mesh* dan torsi yang dihasilkan masing – masing variasi *mesh* dan pada Tabel 1 ditampilkan besar torsi pada masing – masing jumlah *mesh*. Berdasarkan data dari tabel 1 dan gambar 9, dapat kita simpulkan bahwa 1346821 merupakan jumlah *mesh* yang ideal untuk digunakan karena nilai torsi dapat dikatakan tidak berubah.

Tabel 1. Variasi Nilai Torsi dengan Jumlah *Mesh*

Σ Mesh	Torsi (Nm)
74171	20,06
116225	19,44
173790	17,38
331678	17,9
1356821	22,19
2184613	21,99

b. Data Simulasi TASV

Setelah jumlah *mesh* didapatkan, pengaturan simulasi masing – masing varian turbin dilakukan dengan menggunakan pengaturan waktu *steady*, permodelan simulasi SST k-omega.

Nilai *tip-speed ratio* (TSR) yang akan menjadi acuan untuk mencari kecepatan sudut direkayasa sedemikian rupa hingga nilai *coefficient of power* (C_p) tidak melebihi angka 0,2 yang menjadi C_p ideal bagi TASV. Dengan membandingkan daya turbin yang didapatkan dari simulasi dan daya angin, akan didapatkan nilai C_p masing – masing varian turbin. Di mana A: luas permukaan bilah turbin dan P: daya yang dihasilkan angin.

- **TASV Heliks Normal**

$A = 1,45 \text{ m}^2$; $P_{\text{udara}} = 2437 \text{ W}$; $V_{\text{angin}} = 14 \text{ m/s}$

Tabel 2 Nilai TSR, Torsi, Omega, C_p dan Daya TASV Heliks Normal

TSR	Torsi	C_p	ω	P
0,7	9,91	0,19	32,67	323,7
0,71	10	0,196	33	330
0,72	9,95	0,198	33,6	334,32
0,73	9,43	0,19	34	320,62
0,74	9,03	0,18	34,5	311,5
0,75	10,3	0,21	35	360,5
0,76	11,6	0,24	35,5	411,8
0,77	12,56	0,27	36	452,16
0,78	13,3	0,28	36,4	484
0,79	14,15	0,31	36,87	521,7
0,8	14,75	0,32	37,3	550,2

Tabel 2 menampilkan pengaruh nilai TSR terhadap torsi, omega, C_p dan daya yang dihasilkan selama simulasi. Setelah dilakukan perbandingan antara data simulasi dengan perhitungan teoritis, dengan menggunakan 0,2 sebagai nilai C_p turbin ideal, dapat dilihat pada TSR 1,24 TASV heliks normal memiliki daya sebesar 447,8 Watt.

- **TASV Heliks *Arm***

$A = 1 \text{ m}^2$; $P_{\text{udara}} = 1680,7 \text{ W}$; $V_{\text{angin}} = 14 \text{ m/s}$

Tabel 3. Nilai TSR, Torsi, Omega, Cp dan Daya TASV Heliks *Arm*

TSR	Torsi	Cp	ω	P
1,2	5,93	0,13	56	332
1,21	6,26	0,14	56,47	353,5
1,22	6,7	0,15	56,9	381,23
1,23	7,24	0,17	57,4	415,6
1,24	7,74	0,18	57,86	447,8
1,25	8,4	0,20	58,3	489,7
1,26	9,12	0,22	58,8	536,2
1,27	9,58	0,23	59,26	567,71
1,28	10,1	0,24	59,73	603,27
1,29	10,65	0,26	60,2	641,13
1,3	11,1	0,27	60,67	673,4

Tabel 3 menampilkan pengaruh nilai TSR terhadap torsi, omega, Cp dan daya yang dihasilkan selama simulasi. Setelah dilakukan perbandingan antara data simulasi dengan perhitungan teoritis, dengan menggunakan 0,2 sebagai nilai Cp turbin ideal, dapat dilihat pada TSR 0,72 TASV heliks *arm* memiliki daya sebesar 334,32 Watt.

- **TASV Heliks *Arm + Circle***

$A = 1,08 \text{ m}^2$; $P_{\text{udara}} = 1815,15 \text{ W}$; $V_{\text{angin}} = 14 \text{ m/s}$

Tabel 4. Nilai TSR, Torsi, Omega, Cp dan TASV Heliks *Arm-Circle*

TSR	Torsi	Cp	ω	P
0,9	2,5	0,05	42	105
0,91	3,51	0,08	42,47	149,06
0,92	4,55	0,1	42,93	195,33
0,93	5,66	0,13	43,4	254,64
0,94	6,78	0,16	43,86	297,37
0,95	7,8	0,19	44,3	345,5
0,96	8,88	0,21	44,8	397,82
0,97	9,85	0,24	45,27	445,9
0,98	10,76	0,27	45,73	492
0,99	11,58	0,29	46,2	535
1	12,3	0,31	46,67	574

Tabel 4 menampilkan pengaruh nilai TSR terhadap torsi, omega, Cp dan daya yang dihasilkan selama simulasi. Setelah dilakukan perbandingan antara data simulasi dengan perhitungan teoritis, dengan menggunakan 0,2 sebagai nilai Cp turbin ideal, dapat dilihat pada TSR 0,95 TASV heliks *arm - circle* memiliki daya sebesar 345,5 Watt.

KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan penelitian dan hasil penelitian pada Bab IV, maka dapat disimpulkan:

- Fenomena *downwash* dan *venturi effect* meningkatkan kecepatan angin sebesar 40%, di mana kecepatan angin yang semula hanya sebesar 10 m/s menjadi 14 m/s.
- TASV heliks normal memiliki nilai daya sebesar 447,8 watt
- TASV heliks *arm* memiliki nilai daya sebesar 334,32 watt
- TASV heliks *arm-circle* memiliki nilai daya sebesar 345,5 watt

TASV heliks normal menjadi pilihan yang lebih baik untuk pemasangan turbin angin pada area urban, karena memiliki nilai daya terbesar yaitu 447,8 watt.

REFERENSI

- [1] J. Parkinson, "The problem with the skyscraper wind effect," *BBC News Magazine*, 2015. <https://www.bbc.com/news/magazine-33426889#:~:text=Accelerated winds near skyscrapers are,down and around the sides.> (accessed Mar. 31, 2021).
- [2] S. S. Suprajha and K. Vijayan, "Design and Analysis of Helical Blade Wind Turbine," *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol. (An ISO Certif. Organ.)*, vol. 3297, no. 5, pp. 7924–7931, 2007.
- [3] H. Darhmaoui and N. Sheikh, "University Honors Program Savonius Vertical Wind Turbine : Design , Simulation , And Physical Testing Eddahmani Aymane," no. May, 2017.
- [4] M. Irfan, A. Hidayat, M, and I. Khalilullah, M, "Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga," Politeknik Negeri Padang, Padang, 2011.
- [5] M. Saputra, "Kajian Literatur Sudu Turbin Angin Untuk Skala Kecepatan Angin Rendah," *Dosen Tek. Mesin - Univ. Teuku Umar - Meulaboh*, vol. 2, no. 1, pp. 74–83, 2016.
- [6] I. B. Alit, N. Nurchayati, and S. H. Pamuji, "Turbin angin poros vertikal tipe Savonius bertingkat dengan variasi posisi sudut," *Din. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 107–112, 2016.
- [7] Y. Gu, "Characteristics and Performance of Vertical-Axis Wind Turbine (VAWT)," *Glob. J. Res. Eng. JGeneral Eng.*, vol. 20, no. 3, 2020.
- [8] E. . Wijayanti, Saparin, and Y. Setiawan, "Experimental study of helical savonius rotor profiles with different number of blade Experimental study of helical savonius rotor profiles with different number of blade," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 2020.
- [9] F. Aryanto, M. Mara, and M. Nuarsa, "Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal," *Din. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 50–59, 2013.
- [10] Y. Kurniawan, D. D. Dwi Prija Tjahjana, and B. Santoso, "Experimental study of savonius wind turbine performance with blade layer addition," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 69, no. 1, pp. 23–33, 2020.
- [11] T. Gunawardena, S. Fernando, P. Mendis, B. Waduge, and D. Hettiarachchi, "Wind

- Analysis and Design of Tall Buildings , the State of the Art,” *8th Int. Conf. Struct. Eng. Constr. Manag.*, no. December, pp. 1–10, 2017.
- [12] L. Bendini, “How a building’s height affects wind behaviour,” *Ingrid Cloud*, 2020. <https://blog.ingridcloud.com/blog/buildings-height-affects-wind-behaviour> (accessed May 09, 2021).
- [13] E. Hala, F. Nepravishta, and A. Panariti, “The Wind Flow Effects and High-Rise Building in Urban Spatial Morphology.”
- [14] A. Saputro, “Analisa Numerik Pengaruh Sudut Serang Terhadap Karakteristik Turbin Angin Horizontal dengan NACA 4412,” *Tek. Mesin - Univ. Mercu Buana*, pp. 20–24, 2021.