

Rancang bangun tiga susun turbin angin sumbu vertical dengan jumlah sembilan bilah menggunakan metode VDI 2222

Frengki TogaRaja Malau *, Abdul Hamid

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Indonesia

Article Info

Article history

Received April 18, 2022

Revised December 8, 2022

Accepted December 25, 2022

Keywords

VAWT Tiga Susun;

Triangle;

VDI 2222;

Tip Speed Ratio;

RPM;

ABSTRACT

Energy, both non-renewable energy (fossil) and renewable energy (EBT) have a very important role in human life. Many community businesses are powered by energy, especially electricity. The development and design of a VAWT that is in accordance with the geographical conditions of Indonesia and is able to operate with an average wind speed of 4-5 m/s in the territory of Indonesia. Knowing the optimal design and dimensions of the VAWT-type wind turbine with a wind speed of 4-5 m/s. Getting the maximum optimization of the triangle wind turbine by using a combination of shaft and blade triangle. The process of designing a vertical axis wind turbine uses a method combined with the VDI 2222 design method. This method begins with the planning process to produce product specifications and their technical demands to the completion process to produce concept drawings and detailed drawings. The wind speed and ratio are the actual wind data during the field test. From the results of the wind speed field test, the ratio in the turbine test at Muara Baru Harbor from wind speed with a maximum Tip Speed Ratio (TSR) at a maximum wind speed of 4.6 m/s, is due to the determinants of TSR such as wind speed and rotation, so that with increasing turbine rotation, the resulting TSR will increase. The maximum TSR value at a maximum speed of 4.6 m/s is 0.47 TSR, while the lowest value at a wind speed of 1.6 m/s is 0.16 TSR. In this design, the VAWT turbine can rotate and function at an average wind speed of 4-5m/s for use in the geographical area of Indonesia.

This is an open-access article under the [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



*Corresponding Author

Frengki TogaRaja Malau,

Jurusan Teknik Mesin,

Fakultas Teknik,

Universitas Mercu Buana,

Jl. Meruya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat 11650, Indonesia

Email: frankymalau8@gmail.com

1.PENDAHULUAN

Energi baik energi tak terbarukan (fossil) maupun energi terbarukan (EBT) memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Banyak bisnis masyarakat yang ditenagai oleh energi, terutama listrik. Ini adalah tugas utama pemerintah untuk menyediakan energi listrik yang terus meningkat dari waktu ke waktu.

Jumlah listrik yang terpasang pada tahun 2017 sekitar 60.789,98 Mega Watt (MW), yang berarti naik 1,9% dari tahun 2016 sebesar 59.656,30 MW[1].

Kebutuhan untuk memenuhi perkembangan jaman menyebabkan bahan bakar fosil meningkat, dan karena itu diharapkan tenaga cara lain untuk mengatasi semakin berkurangnya bahan bakar fosil. Salah satu bentuk tenaga yang terdapat pada alam adalah angin. Oleh karenanya turbin angin mulai dimanfaatkan menjadi pembangkit listrik lainnya[2].

Perkembangan energi angin di Indonesia untuk saat ini masih tergolong rendah. Salah satu penyebabnya adalah karena kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia tergolong kecepatan angin rendah, yaitu berkisar antara 3m/s hingga 5 m/s sehingga sulit untuk menghasilkan energi listrik dalam skala besar. Meskipun demikian, potensi angin di Indonesia tersedia hampir sepanjang tahun sehingga kemungkinan untuk dikembangkan sistem pembangkit listrik skala kecil[3].

Penelitian tentang pengaruh sudut flap pada blade NACA 0018 dengan menggunakan CFD, disimpulkan bahwa sudut 3 flap 10 deg memiliki kinerja lebih baik[4].

Penelitian dengan simulasi numerik tentang penerapan flap tetap dan berisolasi pada blade vertikal axis tidak turbin (VATT) menggunakan profil NACA 0018. Dengan penggunaan flap akan meningkatkan koefisien daya sebesar 28% dibandingkan blade turbin konvensional. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil yang berbeda-beda, sudut pitch berpengaruh terhadap kinerja turbin pada semua profil NACA[5].

Merancang dan meneliti Turbin Vertical Axis Wind (VAWT) prototipe untuk mengevaluasi kinerjanya dengan beberapa parameter geometris yang dimodifikasi, Pengujian dilakukan dengan terowongan angin 40 cm x 40 cm dengan tujuan memungkinkan untuk memproduksi turbin angin skala kecil dengan fleksibilitas untuk memodifikasi desain dengan biaya rendah dan tidak membutuhkan waktu yang lama[6].

Listrik yang dihasilkan oleh turbin angin *Savonius* menghasilkan lebih banyak daya dari pada yang tanpa sirip dengan nilai 10,66 Watt untuk tipe *blade* L dan 13,40 Watt untuk tipe S pada kecepatan angin 4,5 m/s. dapat dilihat bahwa rotor tanpa sirip menghasilkan daya listrik paling sedikit. Sementara itu, rotor menggabungkan satu sirip di bilahnya menghasilkan daya listrik paling tinggi dibandingkan yang lain. Juga ditemukan semakin banyak sirip di bilah menghasilkan daya yang lebih kecil. Penambahan sirip pada sudu mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh turbin angin karena pengaruhnya dari ruang dibagi oleh bilah sirip. Namun, menambahkan lebih banyak sirip menghasilkan ruang yang lebih kecil di antara sirip pada sudu yang menyebabkan aliran angin terpusat dan menghasilkan tekanan yang lebih besar pada sudu. Peningkatan tekanan yang terjadi pada luas sudu sebanding dengan peningkatan jumlah kekuatan yang dihasilkan. Sehingga gaya dorong yang dihasilkan pada saat akan bergerak semakin besar ketika fin dipasang lebih banyak[7].

Krisis penyediaan listrik di beberapa daerah mengakibatkan efek tidak menguntungkan bagi pertumbuhan ekonomi Indonesia sebab pertumbuhan ekonomi masyarakat menyebabkan permintaan akan tenaga listrik meningkat pula. Untuk mengatasi hal tersebut, pemerintah berupaya membuat pembangkit listrik alternatif memanfaatkan sumber daya yang bisa diperbaharui seperti angin[8].

Krisis energi merupakan salah satu masalah yang sedang dihadapi oleh Negara Indonesia saat ini, terutama dengan menipisnya cadangan minyak bumi (energi fosil) dan semakin tingginya jumlah penduduk. Efisiensi adalah faktor terpenting untuk mencapai kepuasan pelanggan dan produktivitas operasional. Oleh karena itu, kesadaran akan pentingnya pemeliharaan dan keamanan bangunan terutama pada bahaya kebakaran listrik. Sebuah penelitian menunjukkan 60% kejadian kebakaran karena korsleting listrik, sehingga perlu deteksi dini dan pemeliharaan preventif untuk mencegah terjadinya bahaya kebakaran listrik. Selama ini biasanya pemilik lebih fokus pada bisnis inti dan kurang memperhatikan kondisi wilayah, padahal perusahaan harus melindungi aset dan harus aman dari bahaya kebakaran[9].

Ketergantungan bahan bakar fosil sebagai penggerak mesin-mesin pembangkit listrik, setidaknya memiliki tiga ancaman serius, yakni menipisnya cadangan minyak bumi, kenaikan/ketidak stabilan harga akibat laju permintaan yang lebih besar dari produksi minyak, dan polusi gas rumah kaca seperti gas CO₂ akibat pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak, gas dan batubara[10].

Sebenarnya sudah sejak lama Pemerintah Indonesia peduli dengan keadaan krisis energi yang berlarut-larut seperti sekarang terjadi. Pada tanggal 7 April 1982, melalui keputusannya Instruksi Presiden (Inpres) No. 9 tahun 1982, Pemerintah Republik Indonesia sudah mulai mengeluarkan kebijakan tentang Penghematan/Konservasi Energi. Inpres ini terutama ditujukan terhadap pencahayaan gedung, AC, peralatan dan perlengkapan kantor yang menggunakan listrik, dan kendaraan dinas. Oleh karena itu, penting bagi pemerintah dan masyarakat untuk selalu menjadikan hemat energi sebagai budaya di masyarakat. Dengan hemat energi maka pengeluaran pemerintah dan masyarakat akan energi bisa dikurangi, dan ini membuat energi dapat digunakan dalam waktu yang panjang dan efisien[11].

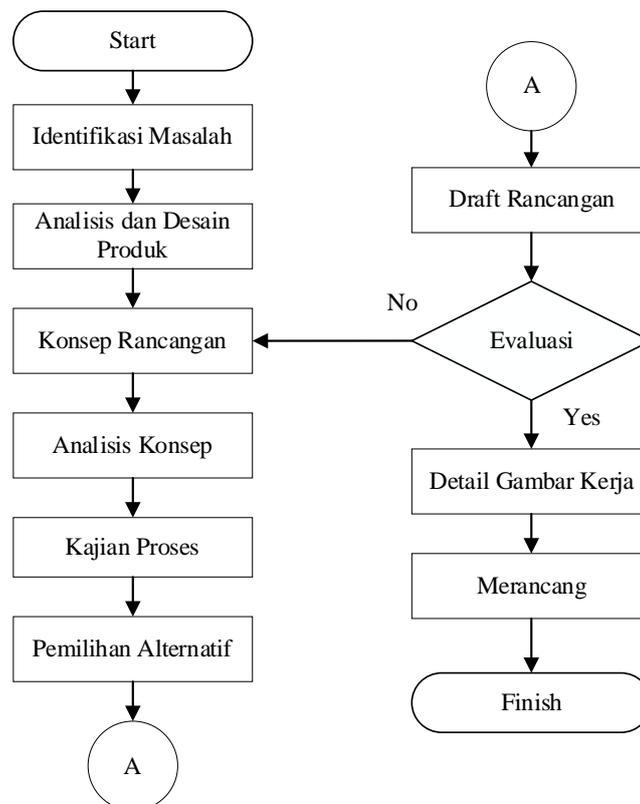
Turbin angin adalah suatu alat atau mesin yang dilengkapi dengan *blade* yang berotasi dengan mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik (*power*) yang dapat dimanfaatkan. Terdapat dua kategori mendasar untuk turbin yang ada saat ini, yaitu : HAWT (*Horizontal-Axis Wind Turbines*) atau Turbin Angin Sumbu Horizontal dan VAWT (*Vertical-Axis Wind Turbines*) atau Turbin Angin Sumbu Vertikal[12].

Sama seperti kincir angin, turbin angin memanfaatkan energi angin dan mengubahnya menjadi berbagai bentuk energi. Turbin angin mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik. Turbin angin digunakan untuk berbagai aplikasi, mulai dari pemanfaatan energi untuk seluruh kota hingga pembangkit listrik kecil untuk penggunaan pribadi[13].

Keuntungan ini terutama disebabkan oleh berbagai alasan, yang paling penting adalah kemampuan VAWT untuk berfungsi dalam aliran angin multi arah yang dapat terus berubah di daerah pemukiman. Tidak seperti HAWT, VAWT tidak memerlukan mekanisme kontrol yaw dan merespons langsung terhadap perubahan kecepatan dan arah angin, yang pada gilirannya membuat mereka lebih efisien di daerah aliran turbulen[14].

2.METODE DAN BAHAN

Proses perancangan turbin angin sumbu vertikal menggunakan metode yang dipadukan dengan metode perancangan VDI 2222. Metode ini diawali dengan proses merencana untuk menghasilkan spesifikasi produk beserta tuntutan teknisnya sampai dengan proses penyelesaian untuk menghasilkan gambar konsep beserta gambar detailnya. Tahapan metode pelaksanaan dapat dilihat pada Gambar 1 diagram alir (*flowchart*).



Gambar 1: Diagram alir

Penjelasan diagram alir rancangan:

- Merencana
Pada tahap ini adalah langkah proses merencana, bentangan awal produk (*fix blank*) dihitung berdasarkan spesifikasi dan tuntutan produk. Material produk terbuat dari aluminium, sedangkan ketebalannya sebesar 1 mm.
- Mengonsep
Pada proses ini, pembuatan konsep rancangan dibuat beberapa alternatif yang kemudian dinilai serta dipilih alternatif yang paling memungkinkan untuk dibuatkan. Beberapa parameter seperti konstruksi, keterbutan, serta perawatan digunakan sebagai pertimbangan dalam pembuatan konsep. Alternatif satu dengan tahapan proses dibuat dengan konsep rancangan.
- Merancang
Pada tahapan merancang, turbin angin sumbu vertikal dibuat dalam bentuk draf rancangan.

2.1. Struktur Fungsi

Pada dasarnya plat datar akan menghasilkan gaya angkat jika diatur pada sudut datang, dan dapat dimodifikasi untuk membentuk airfoil dengan geometrinya yang dapat dicirikan dengan koordinat permukaan atas dan bawah, serta beberapa parameter seperti: ketebalan maksimum, camber maksimum, posisi ketebalan maksimum, posisi camber maksimum[15].

2.2. Fungsi Keseluruhan

Fungsi ini digambarkan dengan diagram balok yang menunjukkan hubungan antara masukan dan keluaran dimana masukan dan keluaran tersebut berupa aliran energi, material dan sinyal seperti pada Gambar 2.

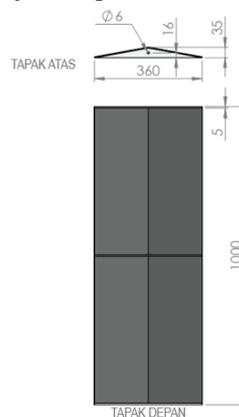


Gambar 2: Struktur fungsi keseluruhan

2.3. Perancangan dan Pembuatan Turbin Angin

2.3.1. Penentuan diameter blade

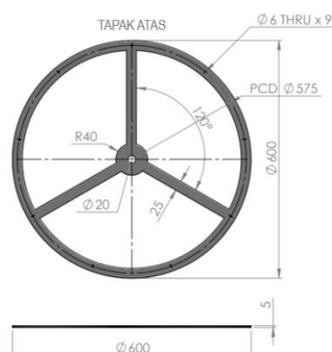
Lengan sudut atau jari-jaritur bin memiliki dimensi $H = 100$ cm, $D = 36$ cm dan lekukan 3,5. Bahan yang digunakan berbahan alumunium, pemilihan bahan ini dikarenakan bahan alumunium mudah di bentuk, ringan, serta tahan terhadap korosi. ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3: Gambar tapak atas dan tapak depan blade

2.3.2. Reel Buffer (Dudukan Turbin Angin)

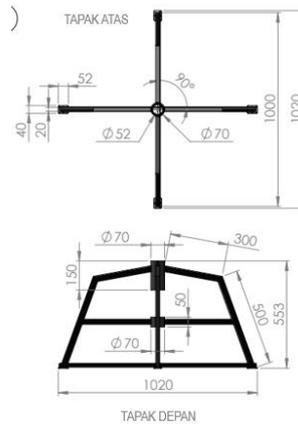
Dudukan turbin seperti yang terlihat pada Gambar 4 adalah penyangga dari semua komponen turbin angin, dan sebagai tempat dudukan generator. Bahannya terbuat dari plat besi yang dapat di bongkar pasang berukuran $D = 60$ cm.



Gambar 4: Reel buffer (duduk antur bin angin)

2.3.3. Perancangan kaki turbin/tower

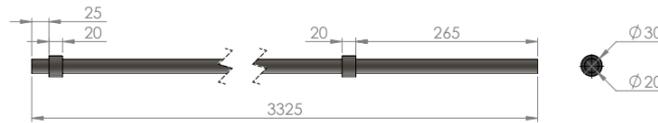
Pada penelitian ini dilakukan perancangan kaki turbin untuk menahan beban yang pada turbin angin. Beban tersebut merupakan beban keseluruhan mencakup beban komponen-komponen lain diantaranya sudut, poros, generator dan komponen di lainnya serta beban yang timbul dikarenakan terjanan angin. Karena yang akandibuatadalahsebuahprototipe, makaudukan atau dasar untuk kaki turbin angin dapat didesain dan dipasangkan dengan poros dan generator. Bentuk tower yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5: Gambar kaki turbin/tower

2.3.4. Perancangan poros

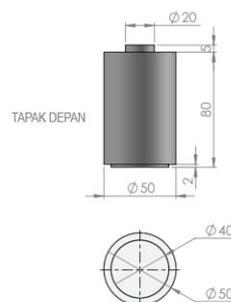
Poros rotor berfungsi untuk memindahkan daya dari rotor ke generator, dapat secara langsung maupun melalui mekanisme transmisi gearbox. Poros yang digunakan terbuat dari bahan *stainless steel* dengan dimensi $H = 100$ cm, $D = 2$ cm, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6: Gambar poros VAWT

2.3.5. Pemilihan generator

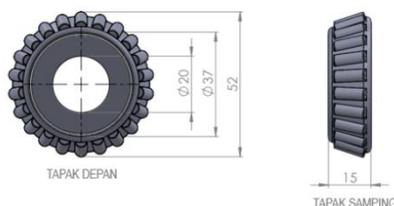
Generator seperti yang terlihat pada Gambar 7 merupakan komponen terpenting dalam turbin angin, dimana fungsinya adalah merubah energi gerak putar pada poros penggerak menjadi energi listrik, *generator* yang dipakai merupakan *generator* DC 12 Volt, dengan Arus 5 Ampere. *Generator* di hubungkan langsung pada poros untuk menerima transformasi daya dari turbin angin



Gambar 7: Gambar generator

2.3.6. Pemilihan bearing

Bearing adalah komponen yang sangat penting dalam system peralatan berputar mekanis, pemilihan roller bearing ini di aplikasikan pada turbin angin sumbu vertical dikarenakan tipe roller bearing ini dapat menopang atau menanggung beban yang sangat berat dan mempermudah dalam pemasangan serta pelepasan poros (Gambar 8).



Gambar 8: Gambar roller bearing

Gambar 8 adalah gambar tampak depan dan tampak samping roller bearing. Setelah semua komponen turbin telah siap, dilakukan perakitan terhadap semua komponen turbin angin Langkah selanjutnya melakukan pengujian pada turbin angin sumbu vertikal, guna mengetahui kesalahan pada setiap komponen turbin angin.

3.HASIL DAN DISKUSI

Hasil evaluasi serta pembobotan nilai pada masing-masing variasi dapat dilakukan berdasarkan Sembilan kriteria yang telah didefinisikan sebelumnya. Sedangkan, nilai paling ideal dengan kategori baik diberikan berdasarkan penilaian dari segi teknis maupun dari segi ekonomis yang ditunjukkan dalam persentase (%). Nilai persentase tersebut didapat dengan menjumlahkan hasil dari pembobotan dari kesembilan kriteria yang kemudian dibagi 100% yang merupakan nilai paling baik dan ideal. Adapun penilaian dari segi teknis terdapat lima kriteria yaitu:

- Pencapaian fungsionalitas
- Pembuatan
- Handling
- Perawatan
- perakitan

Sedangkan kedua kriteria penilaian yang termasuk dari segi ekonomis adalah:

- Harga perakitan
- Biaya perawatan
- Komponen standar
- Berat

Tabel 1: Tabel persentase evaluasi

No	Kriteria	Penilaian			Ideal
		Varian 1	Varian 2	Varian 3	
Penilaian Dari Segi Teknis					
1	Pencapaian Fungsi Alat	3	4	2	4
2	Pembuatan	4	2	3	4
3	Penanganan/Handling	2	4	3	4
4	Perawatan	1	3	3	4
5	Kemudahan dalam perakitan	3	2	2	4
Jumlah		13	15	13	20
Presentase (%)		81%	94%	81%	100%
Penilaian Dari Segi Ekonomis					
1	Harga Perkiraan	1	2	3	4
2	Biaya Perawatan	2	3	1	4
3	Penggunaan komponen standar	3	2	3	4
4	Berat	2	4	2	4
Jumlah		8	11	9	16
Presentase (%)		50%	69%	56%	100%

Penggolongan kriteria penilaian diatas dilakukan karena dari kelima kriteria pertama merupakan aspek yang dapat dilakukan pada saat proses manufaktur. Sedangkan keempat kriteria dinilai dari segi ekonomis dikarenakan mempunyai pengaruh paling besar diantara kelima aspek diatas didalam proses pengambilan keputusan.

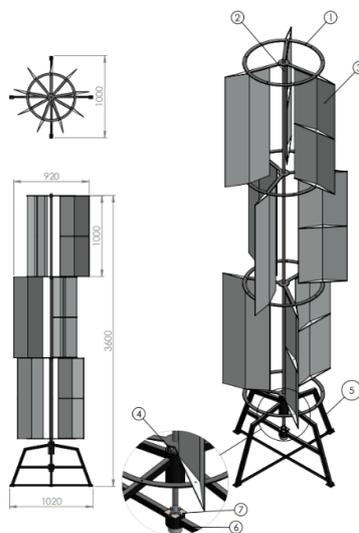
Variasi konsep kedua mendapatkan persentase paling tinggi dari segi teknis 94% dan 69% dari segi ekonomisnya. Sedangkan variasi konsep pertama mendapatkan nilai terendah yaitu 81% dinilai dari aspek teknis sedangkan untuk aspek ekonomis mendapatkan 50%. seperti yang ada pada Tabel 1.

Perakitan dilakukan pada semua komponen turbin angin sumbu horizontal. Penggabungan semua komponen tower, pemasangan poros, penyambungan semua bilah *blade* dengan dudukan. Pada pemasangan ini susunan dari semua tingkatan dibedakan guna untuk mencegah adanya turbulence pada bilah *blade*.

Setiap tingkatan terdiri dari tiga bilah *blade*, yang dimana susunan pada tingkat kedua posisi dudukan *blade* di putar sebesar 60° dari posisi dudukan *blade* pada susunan pertama, demikian juga dengan *blade* pada susunan ketiga yang diputar sebesar 40° posisi dudukan *blade* susunan kedua.

Hasil perancangan turbin angin ini di dasari dari menguraikan fungsi komponen dan diberikan konsep alternatif dengan tujuan mencari solusi optimal berdasarkan penilaian secara teknis dan ekonomis.

Turbin angin sumbu vertical ini adalah turbin angin yang dapat berputar di angin kecepatan reandah. Untuk itu turbin dbuat dengan poros vertikal dan sudu yang dipasang berjumlah sembilan. Alasan sudu dibuat demikian untuk mendapat torsi maksimal dengan dasar bahwa semakin banyak gaya yang diteruskan maka gaya yang diterma poros semakin besar. Berikut adalah gambaran perancangan turbin angin sumbu vertikal *blade* segitiga (*Triangle*) seperti yang dapat dilihat pada Gambar9.



Gambar 9: Desain VAWT blade segitiga (*triangle*)

3.1. Hasil Uji Lapangan

Pada tahap ini proses uji lapangan dilakukan dimulai dari penggabungan dari setiap bagian turbin angin sumbu vertikal, setelah penggabungan selesai maka Langkah selanjutnya dilakukan pengambilan data dari setiap variasi kecepatan angin yang berbeda untuk mengetahui kecepatan putar turbin (RPM), tegangan (Volt), torsi, arus listrik (Ampere) dan daya turbin (Watt).

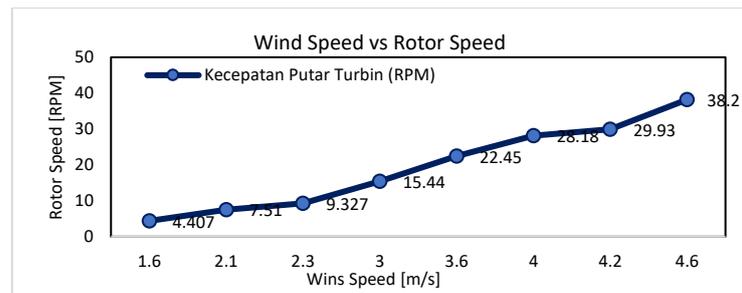
Dari hasil uji lapangan turbin angin sumbu vertical pada Tabel2:

Tabel 2: Nilai-nilai parameter hasil uji lapangan VAWT

Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Rotor (rpm)	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)	Daya Turbin (Watt)	Torsi (Nm)
1.6	4.41	0.47	0.88	0.51	0.17
2.1	7.51	3.72	1.85	7.17	1.76
2.3	9.33	4.88	2.67	12.32	2.30
3.0	15.44	7.72	3.74	28.51	3.71
3.6	22.45	9.81	4.57	44.38	4.98
4.0	28.18	9.91	5.48	54.37	5.08
4.2	29.93	10.51	5.68	59.15	5.56
4.6	38.2	10.91	5.80	62.29	6.12

3.2. Kecepatan Putar Turbin (RPM)

Hasil percobaan untuk kecepatan putaran turbin, dapat dilihat pada Gambar 10 berikut:

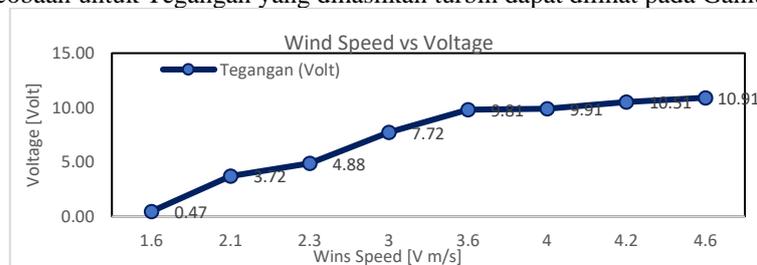


Gambar 10: Grafik kecepatan putaran turbin (RPM)

Gambar 10 menunjukkan hasil uji kecepatan putaran turbin, sumbu X menunjukkan kecepatan angin, dan sumbu Y adalah kecepatan putar turbin (RPM). Pada jam 09.30 kecepatan angin 1,6 m/s menghasilkan 4,41 RPM, pada jam 10.00 kecepatan angin 2,1 m/s menghasilkan 7,51 RPM, pada jam 10.45 kecepatan angin 2,3 m/s menghasilkan 9,33 RPM, pada jam 11.30 kecepatan angin 3 m/s menghasilkan 15,44 RPM, 13.00 kecepatan angin 3,6 m/s menghasilkan 22,45 RPM, pada jam 14.00 kecepatan angin 4 m/s menghasilkan 28,18 RPM, pada jam 15.00 kecepatan angin 4,2 m/s menghasilkan 29,93 RPM, pada jam 16.00 kecepatan angin 4,6 m/s menghasilkan 38,2 RPM. Pada Gambar 10 terlihat kecepatan putar turbin terus meningkat di tiap variasi kecepatan, ini dikarenakan adanya kenaikan kecepatan angin.

3.3. Tegangan yang Dihasilkan Turbin

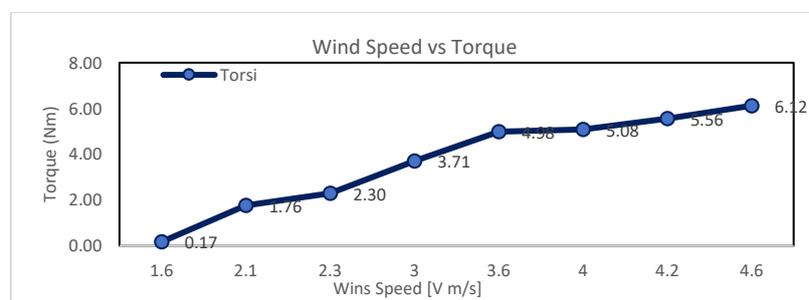
Hasil percobaan untuk Tegangan yang dihasilkan turbin dapat dilihat pada Gambar 11 berikut:



Gambar 11: Tegangan yang dihasilkan turbin (*voltage*).

Gambar diatas menunjukkan hasil uji tegangan, sumbu X menunjukkan kecepatan angin, dan sumbu Y adalah menunjukkan tegangan (*Volt*). Pada jam 09.30 kecepatan angin 1,6 m/s menghasilkan 0,47 Volt, pada jam 10.00 kecepatan angin 2,1 m/s menghasilkan 3,72 Volt, pada jam 10.45 kecepatan angin 2,3 m/s menghasilkan 4,88 Volt, pada jam 11.30 kecepatan angin 3 m/s menghasilkan 7,72 Volt, pada jam 13.00 kecepatan angin 3,6 m/s menghasilkan 9,81 Volt, pada jam 14.00 kecepatan angin 4 m/s menghasilkan 9,91 Volt, pada jam 15 kecepatan angin 4,2 m/s menghasilkan 10,51 Volt, pada jam 16.00 kecepatan angin 4,6 m/s menghasilkan 10,91 Volt. Pada Gambar 11 terlihat tegangan yang dihasilkan turbin terus meningkat dikarenakan semakin tinggi kecepatan angin menghasilkan putaran pada turbin yang tinggi.

3.4. Torsi (*Torque*)

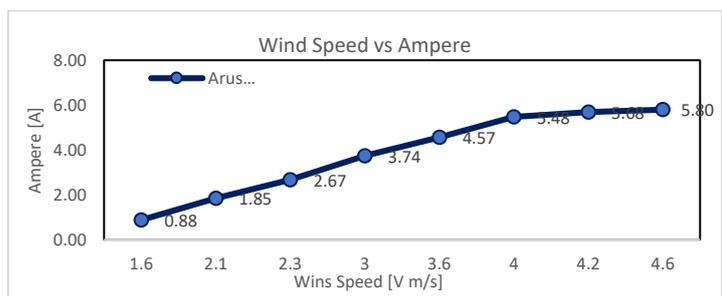


Gambar 12: Torsi turbin angin sumbu vertikal

Torsi hasil uji lapangan pada sumbu X menunjukkan kecepatan angin, dan sumbu Y adalah Torsi (m/s). Pada jam 09.30 kecepatan angin 1,6 m/s menghasilkan 0,17 N.m, jam 10.00 kecepatan angin 2,1 m/s menghasilkan 1,76 N.m, jam 10.45 kecepatan angin 2,3 m/s menghasilkan 2,30 N.m, pada jam 11.30 kecepatan angin 3 m/s menghasilkan 3,71 N.m, pada jam 13.00 kecepatan angin 3,6 m/s menghasilkan 4,98 N.m, pada jam 14.00 kecepatan angin 4 m/s menghasilkan 5,08 N.m, pada jam 15.00 kecepatan angin 4,2 m/s menghasilkan 5,56 N.m, pada jam 16.00 kecepatan angin 4,6 m/s menghasilkan 6,12 N.m. Pada Gambar 12 menunjukkan

torsi terus meningkat pada setiap variasi kecepatan angin, ini dikarenakan turbin berputar semakin cepat pada kecepatan angin yang terus meningkat dan hal ini juga berpengaruh terhadap daya turbin.

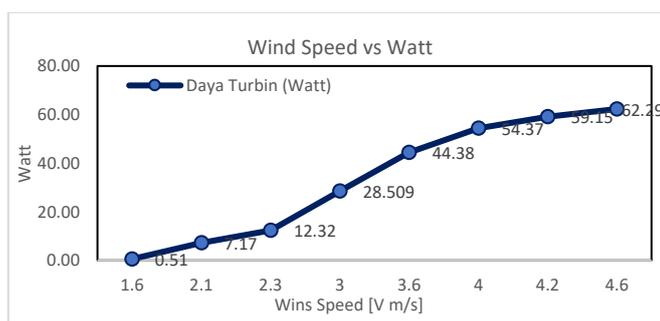
3.5. Arus listrik (Ampere)



Gambar 13: Arus yang dihasilkan turbin (Ampere)

Arus hasil uji lapangan pada Gambar sumbu X menunjukkan kecepatan angin, dan sumbu Y menunjukkan arus (ampere). Pada jam 09.30 kecepatan angin 1,6 m/s menghasilkan 0,88A, jam 10.00 kecepatan angin 2,1 m/s menghasilkan 1,85A, jam 10.45 kecepatan angin 2,3 m/s menghasilkan 2,67A, jam 11.30 kecepatan angin 3 m/s menghasilkan 3,74A, jam 13.00 kecepatan angin 3,6 m/s menghasilkan 4,57A, jam 14.00 kecepatan angin 4 m/s menghasilkan 5,48A, jam 15.00 kecepatan angin 4,2 m/s menghasilkan 5,68A, jam 16.00 kecepatan angin 4,6 m/s menghasilkan 4,80A. Pada Gambar 13 menunjukkan arus yang dihasil turbin per-menit terus meningkat pada setiap variasi kecepatan angin, ini dikarenakan turbin berputar semakin cepat untuk menghasilkan arus yang tinggi.

3.6. Daya Turbin (Watt)



Gambar 14: Grafik daya turbin angin sumbu vertikal (Watt)

Arus hasil uji lapangan pada grafik sumbu X menunjukkan kecepatan angin, dan sumbu Y menunjukkan daya turbin (Watt). Pada jam 09:30 kecepatan angin 1,6 m/s menghasilkan 0,51Watt, jam 10.00 kecepatan angin 2,1 m/s menghasilkan 7,17 Watt, jam 10.45 kecepatan angin 2,3 m/s menghasilkan 12,32 Watt, jam 11.30 kecepatan angin 3 m/s menghasilkan 28,51 Watt, jam 13.00 kecepatan angin 3,6 m/s menghasilkan 44,38 Watt, jam 14.00 kecepatan angin 4 m/s menghasilkan 54,37 Watt, jam 15.00 kecepatan angin 4,2 m/s menghasilkan 59,15 Watt, jam 16.00 kecepatan angin 4,6 m/s menghasilkan 62,29 Watt. Pada Gambar 14 menunjukkan daya yang dihasilkan turbin per-menit terus meningkat pada setiap variasi kecepatan angin hingga kecepatan angin 4,6 m/s, ini dikarenakan turbin berputar semakin cepat dan menghasilkan daya semakin besar.

4. KESIMPULAN

Dari hasil rancang bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) dengan menggunakan VDI 2222 di tentukan pada variasi kedua yang dinilai dari lima segi teknis dengan kriteria pencapaian fungsi alat, pembuatan alat, penanganan/handling, perawatan alat dan kemudahan dalam perakitan yang mendapatkan nilai tertinggi dari variasi lainnya sebesar 94% dan segi ekonomis dengan kriteria harga perakitan, biaya perawatan, penggunaan komponen dan berat dari komponen dengan nilai 69%. Variasi yang di dapat dari perancangan ini bahan bilah terbuat dari alumunium, dudukan bilah berupa kerangka, bantalan poros turbin berupa roller trust bearing, generator output berupa generator dc, dan profil kerangka dudukan turbin berupa wide flange beam.

Dimensi pada rancang bangun TASV desain bilah blade segitiga dengan tinggi blade = 100 cm, lebar blade = 36 cm, tekukan blade = 3.5 cm, Reel Buffer (Dudukan Turbin Angin) diameter = 60 cm, menggunakan poros dengan panjang 100 cm, diameter 2 cm dan menggunakan generator dc 12volt, 5ampere.

Dari hasil uji lapangan di tanggul Muara baru, Jakarta Utara, TASV dapat berfungsi pada kecepatan angin rendah, yaitu rata-rata 4-5 m/s, sesuai dengan kondisi geographi Indonesia, dan dapat menghasilkan putaran rotor sebesar 38.2 rpm. TASV ini dapat menghasilkan dan mempunyai self-starting torque capability pada kecepatan angin rendah 1.6 m/s dengan nilai putaran rotor 4.407 rpm dan besaran torsi 0.17 N.m TASV dirancang bangun tiga susun dengan jumlah Sembilan bilah dapat menghasilkan daya sebesar 62.29 watt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. W. Biantoro, I. Iskendar, S. Subekti, and N. H. Bin Muhd Noor, "The Effects of Water Debit and Number of Blades on the Power Generated of Prototype Turbines Propeller as Renewable Electricity," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 1, p. 203, 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.01.22.
- [2] T. A. Adlie and T. A. Rizal, "Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu Dengan Daya Output 1 KW," *Jurutera*, vol. 02, no. 02, pp. 072–078, 2015.
- [3] J. N. Simanjuntak, S. Tangkuman, and I. Rondonuwu, "Simulasi Pengaruh Jumlah Dan Panjang Sudu Terhadap Daya Turbin Angin Tipe Poros Horizontal," *J. Online Poros Tek. Mesin*, vol. 10, 2020.
- [4] W. Liu, Q. Xiao, and F. Cheng, "A bio-inspired study on tidal energy extraction with flexible flapping wings," *Bioinspiration and Biomimetics*, vol. 8, no. 3, 2013, doi: 10.1088/1748-3182/8/3/036011.
- [5] F. Villara, E. Jimenez, R. Vicentea, and J. González, "Development of Vertical Wind Turbines via FDM Prototype," *J. Procedia*, 2015.
- [6] A. Putranto, A. Prasetyo, and A. Zاتمiko, *Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga*. 2011.
- [7] D. Prabowo, D. S. Wijayanto, and I. Widiastuti, "Experimental Study of Incorporating Fins on the Rotor Blades of Savonius Wind Turbine," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 288, no. 1, pp. 6–11, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/288/1/012046.
- [8] M. Padmika, I. M. Satriya Wibawa, and N. L. P. Trisnawati, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Turbin Ventilator Sebagai Penggerak Generator," *Bul. Fis.*, vol. 18, no. 2, p. 68, 2017, doi: 10.24843/bf.2017.v18.i02.p05.
- [9] A. W. Biantoro, "Analysis of electrical audit and energy efficiency in building Hotel BC, North Jakarta," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 343, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/343/1/012033.
- [10] S. Susilo, B. Widodo, E. Magdalena Silalahi, and A. Priyono, "Pengaruh Jumlah Bilah dan Sudut Pasang terhadap Daya Turbin Angin Poros Vertikal Tipe H-Darrieus Termodifikasi sebagai Energi Alternatif Pembangkit Tenaga Listrik Skala Rumah Tangga," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 12, no. 2, p. 92, 2019, doi: 10.24843/jem.2019.v12.i02.p08.
- [11] A. W. Biantoro and D. S. Permana, "Analisis Audit Energi Untuk Pencapaian Efisiensi Energi Di Gedung Ab, Kabupaten Tangerang, Banten," *J. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, p. 24, 2017, doi: 10.22441/jtm.v6i2.1186.
- [12] R. Howell, N. Qin, J. Edwards, and N. Durrani, "No.58-(2009)-Wind Tunnel and Numerical Study," vol. 35, 2010.
- [13] M. K. Johari and A. F. Abdelgawad, "Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT) Imran Farooq Novel Elect ro-Mechanical Mechanism for Blade Pitch Control of Horizontal Axis, Home-scale Wind Tur... Ahmed Farouk AbdelGawad New, Simple Blade-Pitch Control of Horizontal Axis," *Int. J. Eng. Technol.*, pp. 2227–524, 2018, [Online]. Available: www.sciencepubco.com/index.php/IJET.
- [14] M. Elkhoury, T. Kiwata, and E. Aoun, "Experimental and numerical investigation of a three-dimensional vertical-axis wind turbine with variable-pitch," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 139, pp. 111–123, 2015, doi: 10.1016/j.jweia.2015.01.004.
- [15] R. Clare and I. D. Mays, "Development of vertical axis wind turbine," *Proc. Inst. Civ. Eng. (London). Part 1 - Des. Constr.*, vol. 86, pp. 857–878, 1989, doi: 10.1680/iicep.1989.3160.