

PERANCANGAN PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU DENGAN MEMANFAATKAN ANGIN EXHAUST FAN KITCHEN

I Putu Gede Listara Wijaya¹, I Wayan Arta Wijaya², I Gusti Ngurah Janardana³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana Jl.

Raya Kampus Unud, Jimbaran, Kec. Kuta Sel., Kabupaten

Badung, Bali 80361

listarawijaya76@gmail.com¹, artawijaya@unud.ac.id², janardana@unud.ac.id³

ABSTRAK

Sumber energi terbesar di Indonesia, khususnya yang saat ini digunakan, sebagian besar masih berasal dari bahan bakar fosil yang tidak terbarukan, tidak ramah lingkungan karena menghasilkan gas *CO₂*. Energi angin merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Selain menggunakan energi angin alami, ada pula angin buatan yang merupakan hasil energi terbuang dari exhaust fan sebagai sumber energi alternatif pembangkit listrik tenaga angin (PLTB). Tenaga angin yang berasal dari exhaust fan sendiri mendistribusikan arah angin, sehingga energi angin yang dapat dikumpulkan ke dalam turbin kurang optimal, sehingga perlu dipasang terowongan angin. Pada penelitian ini dirancang model terowongan angin berbentuk trapesium dengan 2 buah panjang yang berbeda yaitu 50 cm dan 100 cm yang ditempatkan pada ujung saluran masuk kipas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemasangan wind tunnel terhadap kecepatan angin exhaust fan dan pengaruhnya terhadap daya input exhaust fan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Hasil penelitian yang didapat ketika penambahan blower 50cm meningkatkan kecepatan angin dari 5,8m/s menjadi 12,8m/s, kapasitas exhaust fan bertambah 119 watt, dari 249,2 watt menjadi 368,2 watt, pada saat dengan kipas 100 cm kecepatan angin meningkat menjadi 119 watt. meningkat dari 5,8 m/s menjadi 11,8 m/s, daya exhaust fan meningkat 70,8 watt, dari 249,2 watt menjadi 320 watt.

Kata Kunci : *Exhaust Fan*, PLTB, Turbin Angin, *Wind Tunnel*

ABSTRACT

The largest source of energy in Indonesia, especially those currently used, mostly still come from non-renewable fossil fuels, which are not environmentally friendly because they produce CO₂ gas. Wind energy is a renewable energy source that is environmentally friendly. Apart from using natural wind energy, there is also artificial wind which is the result of wasted energy from exhaust fans as an alternative energy source for wind power plants (PLTB). Wind power that comes from the exhaust fan itself distributes the wind direction, so that the wind energy that can be collected into the turbine is not optimal, so it is necessary to install a wind tunnel. In this study, a trapezoidal wind tunnel model was designed with 2 different lengths, namely 50 cm and 100 cm, which were placed at the end of the fan inlet. This study aims to determine the effect of installing a wind tunnel on the wind speed of the exhaust fan and its effect on the input power of the exhaust fan. The method used in this research is a quantitative method. The research results obtained when the addition of a 50cm blower increased wind speed from 5.8m/s to 12.8m/s, the exhaust fan capacity increased by 119 watts, from 249.2 watts to 368.2 watts, when with a 100 cm fan the wind speed increased to 119 watts. increased from 5.8 m/s to 11.8 m/s, exhaust fan power increased by 70.8 watts, from 249.2 watts to 320 watts.

Key Words : *Exhaust Fan*, PLTB, Turbin Angin, *Wind Tunnel*

1. PENDAHULUAN

Pemerintah Provinsi Bali mengeluarkan dua keputusan untuk melaksanakan tawaran tersebut Energi Bersih hingga tahun 2022.

Kedua peraturan ini saling berkaitan yaitu Peraturan Gubernur Bali Nomor 45 Tahun 2019 tentang Bali Energi Bersih

dan Keputusan Gubernur Bali Nomor 48 Tahun 2019 tentang Penggunaan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai. Pergub Nomor 45 Tahun 2019 juga mengatur pengembangan bangunan hijau, yaitu bangunan dengan keseimbangan antara energi yang dihasilkan dan yang dikonsumsi.

Angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan mudah didapat. Beberapa keunggulan energi terbarukan adalah:

Sumbernya relatif mudah didapat, gratis didapat, menghasilkan limbah minimal, tidak berpengaruh terhadap suhu global bumi, dan tidak terpengaruh oleh kenaikan harga bahan bakar. Selain angin alami, ada juga angin buatan yaitu. Angin buangan dari sistem pembuangan. Angin buangan merupakan energi yang dapat digunakan untuk memutar atau menggerakkan generator [1]. Penelitian ini membahas tentang pemanfaatan energi angin knalpot dapur sebagai pembangkit listrik dimana kincir angin Savonius menggunakan terowongan angin, dimana terowongan angin tersebut menangkap arah angin dari exhaust fan, yang menyebarkan dan memampatkan angin melalui terowongan angin. kemudian disalurkan dengan channeling agar angin mengalami tekanan pada saat mengalir melalui terowongan angin.

Berdasarkan kajian “Uji Reliabilitas Prototipe Turbin Angin Savonius Tipe U Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif” ditetapkan bahwa pengujian dilakukan pada prototipe turbin angin Savonius sumbu vertikal dengan sudu aluminium. dengan diameter 350 mm dan tinggi 440 mm. Kinerja turbin angin Savonius tipe U pada pengujian ini dengan kecepatan angin 4 m/s dengan kecepatan angin 6 m/s. Berdasarkan hasil pengujian, kecepatan maksimum poros turbin dengan kecepatan angin 6 m/s adalah 33,80 rpm, daya angin 18,65 watt, dan daya listrik 5,24 watt[2].

Berdasarkan kajian “Rancangan Terowongan Angin Sederhana Alat Penunjang Kajian Eksperimental” disebutkan bahwa dibuatlah rencana pengujian prototipe turbin angin. Pada bagian uji terowongan angin, rotor berdiameter 350 mm dan tinggi 540 mm, yang dibatasi oleh kurangnya terowongan angin yang memadai.

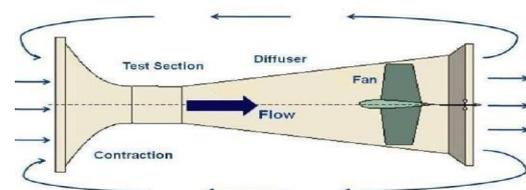
Jika kipas berputar maka akan menimbulkan getaran pada saat pengujian. Untuk meredam getaran, dibuatlah komponen diffuser yang digerakkan secara hisap secara terpisah dari hasil pengujian, yang hanya ditempelkan pada kain celah [3]. Berdasarkan penelitian di atas maka penelitian ini dilanjutkan dengan “Perancangan Prototipe Turbin Angin Memanfaatkan Fan Cooker”. Sehingga penelitian ini mempunyai perbedaan dan kelebihan dengan penelitian ini khususnya yang berkaitan dengan sumber energi, daya keluaran, konstruksi prototype PLTB dan perancangan prototype, sehingga kelebihan tersebut dapat dijadikan acuan dalam perancangan turbin angin yang menggunakan sumber khususnya memicu angin..

2. TINJAUAN PUSTAKA

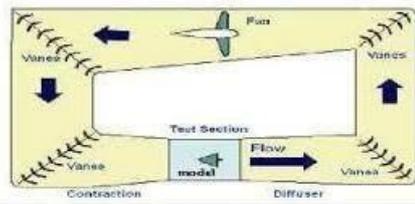
2.1 Wind Tunnel

Terowongan angin atau terowongan angin adalah alat yang digunakan untuk menguji sifat aerodinamis suatu objek model seperti pesawat terbang, kapal laut, dan bangunan.

Ada dua tipe dasar terowongan angin. Gambar 1 menunjukkan terowongan angin sirkuit terbuka. Saat udara keluar dari terowongan angin, udara dilepaskan langsung ke udara terbuka. Jika terowongan angin mengambil udara langsung dari atmosfer, seperti pada Gambar 2. Kemudian termasuk terowongan angin tertutup dimana udara yang keluar dari terowongan angin dialirkan kembali ke dalam terowongan angin [3].



Gambar 1. Wind Tunnel Rangkaian Terbuka



Gambar 2. Wind Tunnel Rangkaian Tertutup

2.2 Teori Kecepatan Angin

Kecepatan angin adalah jarak yang ditempuh pergerakan angin atau udara per satuan waktu dan dinyatakan dalam meter per detik (m/s), kilometer per jam (km/jam), dan mil per jam (mi/h). Satuan mil (mil laut) per jam disebut juga knot (kn); 1 kn = 1,85 km/jam = 1,151 mil/jam = 0,514 m/s atau 1 m/s = 2,237 mil/jam = 1,944 kn. Kecepatan angin

bervariasi menurut ketinggian di atas permukaan tanah. Oleh karena itu diketahui adanya profil angin dimana semakin kuat angin bergerak maka semakin cepat pula [4].

2.2 Jenis dan karakteristik angin

Energi angin pada pembangkit listrik terbagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Angin alami adalah angin yang ditimbulkan oleh pergerakan udara dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Angin ini disebabkan oleh pemanasan permukaan bumi yang tidak merata oleh matahari. Udara hangat naik dan sebaliknya udara dingin mengikuti. Memiliki karakteristik kecepatan dinamis, tidak dapat diprediksi, tidak mudah diatur dan dikendalikan.
2. Angin buatan adalah angin yang dihasilkan oleh udara dari knalpot, blower, blower dan sejenisnya. Ini memiliki fitur kecepatan konstan dan mudah diatur dan dikendalikan [4].

2.3 Exhaust Fan

Kipas pembuangan udara (*Exhaust fan*) ada kipas angin yang tugasnya mengalirkan udara keluar ruangan. Alat ini membantu mengatur sirkulasi udara dalam ruangan baik di lingkungan perumahan maupun industri, biasanya industri

Exhaust fan dipasang di atap fasilitas produksi dan berputar terus menerus. Exhaust fan juga sering digunakan pada ruangan merokok (smoking room/smoking area) dimana asap rokok mencemari udara. Rumus perhitungan aliran exhaust fan adalah sebagai berikut [5]:

$$I_{\text{exhaustfan}} = \frac{P}{v} \dots \dots \dots (1)$$

2.4 Definisi PLTB

PLTB adalah singkatan dari Pembangkit Listrik Tenaga Bayu yang pada hakikatnya mengkonversi energi dari pergerakan angin menjadi energi listrik melalui turbin angin atau kincir angin[6].

2.5 Daya Angin

Daya angin adalah besaran energi yang dapat dihasilkan oleh angin pada kecepatan tertentu yang menabrak sebuah turbin angin dengan luas bidang tertentu sehingga energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah [7] :

$$P_w = \frac{\rho A v^3}{2} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

- P_w = Daya Angin (Watt)
- P_a = Massa Jenis Udara (kg/m³)
- A = Luas Penampang (m²)
- v = Kecepatan Angin (m/s)

2.6 Torsi

Torsi dipengaruhi oleh besar kecilnya diameter turbin, pada torsi yang diameternya besar dihasilkan torsi yang besar sedangkan pada diameter kecil torsi yang dihasilkan lebih kecil. Besarnya torsi dapat dihitung dengan persamaan berikut[7]

$$T = m \times g \times r \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

- F = Gaya (N)
- M = Massa (kg)
- G = Gravitasi (m/s²)
- T = Torsi (Nm)
- R = jari – jari (cm)

2.8 Daya Turbin

Daya turbin adalah besaran energi mekanik yang dapat dibangkitkan oleh rotor turbin angin akibat mendapatkan daya dari

hembusan angin. Daya turbin angin tidak sama dengan daya angin dikarenakan daya turbin angin dipengaruhi oleh koefisien daya (C_p). Keluaran daya mekanik optimal dari turbin angin terhadap kecepatan angin dapat dihitung seperti pada persamaan berikut[7] :

$$P_{opt} = C_p \rho A v^3 \dots\dots\dots(4) 2$$

Dimana :

- P_{opt} = Daya turbin optimal
- C_p = Koefisien daya
- ρ = Kerapatan angin (1.2 kg/s)
- A = Luas daerah sapuan angin (m²)v
- = Kecepatan angin (m/s)

Untuk mencari nilai daya mekanik turbin ditunjukkan pada persamaan dibawah ini :

$$P = t x \omega = t x \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

- P = Daya turbin (Watt)t
- = Torsi (Nm)
- n = Putaran turbin (Rpm)
- ω = Kecepatan sudut turbin (Rad/s)

Untuk mencari nilai efisiensi dari wind tunnel menggunakan persamaan di bawah ini :

$$\eta = \frac{P_{poros}}{P_o} x 100\% \dots\dots\dots(6)$$

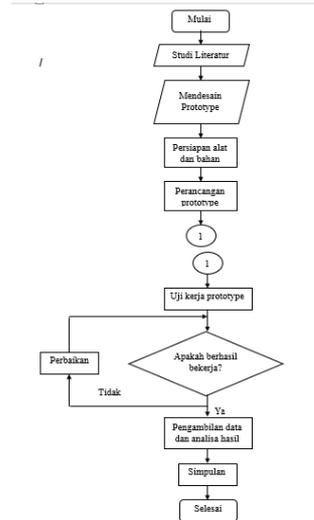
Dimana :

- η = Efisiensi turbin (%)
- P_{poros} = Daya poros turbin (watt)Pi
- = Daya angin (Watt)

1. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana dan *Kitchen* Intuitive Sanur. Pelaksanaan penelitian ini akan dimulai dari bulan Januari 2022.

Pada Gambar 3. dapat dilihat tahapan yang dilakukan pada saat penelitian :



Gambar 3. Diagram Alur Penelitian

Berikut penjelasan pada Gambar 3:

Langkah 1. Studi Literatur

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur yang berkaitan dengan PLTB menggunakan *Wind tunnel*.

Langkah 2. Mendesain *Prototype*

Pada tahap ini dilakukan desain pemodelan *wind tunnel* sebagai acuan dalam pembuatan PLTB menggunakan software Sketchup dan AutoCad.

Langkah 3. Persiapan Alat dan Bahan

Pada langkah ini menyiapkan alat dan bahan yang digunakan untuk pembuatan *prototype*.

Langkah 4. Perancangan *Prototype*

Pada tahap keempat dilakukan perakitan dan pemodelan *prototype* PLTB dan *wind tunnel* sesuai dengan desain yang telah ditentukan.

Langkah 5. Uji Kerja *Prototype*

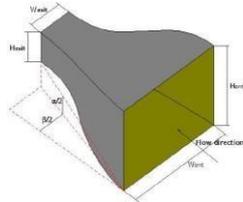
Pada langkah kelima dilakukan pengujian di tempat yang sudah ditentukan, *prototype* PLTB diletakan di depan mulut *wind tunnel*, sedangkan *wind tunnel* tersambung dengan *ducting* (saluran) *exhaust fan kitchen*. Jika terjadi suatu kendala pada alat yang sudah dibuat maka dilakukan perbaikan, jika tidak ada maka dilanjutkan dengan tahap selanjutnya.

Langkah 6. Pengambilan Data

Pada langkah ini dilakukan pencatatan, perhitungan, dan pengolahan data yang sudah didapatkan pada saat melakukan pengujian.

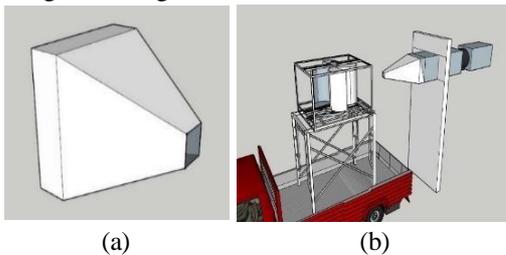
1.1 Perancangan Model Wind Tunnel

Perancangan model *wind tunnel* ini menggunakan model *Contraction* yaitu berbentuk trapezium, *contraction* merupakan komponen yang dapat menyebabkan kenaikan kecepatan udara dan penurunan tekanan udara, sebagai acuan dalam desain serta simulasi untuk mengetahui karakteristik kecepatan angin yang didapatkan dengan perbedaan 1:5 dan panjang 50 cm, 100 cm yang melalui *wind tunnel*.



Gambar 4. *Wind Tunnel Contraction*

Desain *prototype wind tunnel* dan desain *prototype wind tunnel* pada saat tersambung dengan *ducting*



Gambar 5. (a) Desain *Wind Tunnel* skala 1:5, (b) Desain peletakan *Wind Tunnel*

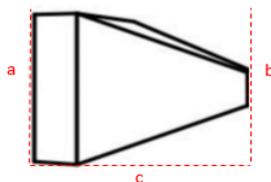
2. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1 Hasil Perancangan

Berikut spesifikasi *wind tunnel* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 spesifikasi *wind tunnel*

Bahan	Plat Aluminium
Tebal bahan	0,6 mm
skala	1 : 5
Diameter <i>Inlet</i> (a)	55 cm
Diameter <i>Outlet</i> (b)	11 cm
Panjang <i>Wind Tunnel</i> (c)	50 dan 100 cm



Gambar 6. Hasil Perancangan *Wind Tunnel*

Hasil realisasi *wind tunnel* dan PLTB pada saat terpasang dengan *ducting*



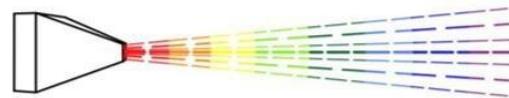
Gambar 7. *Wind Tunnel* Terpasang pada *ducting* dan PLTB

2.2 Simulasi Kecepatan Angin *Wind Tunnel*

Simulasi di buat dengan menggunakan cara pengukuran kecepatan angin pada outlet *wind tunnel* dengan menggunakan *Airflow anemeter* pada bagian atas, bawah, kiri, kanan dan as tengah, dengan jarak 0 cm, 10 cm, 50 cm, 100 cm. Tabel 2. Hasil pengukuran kecepatan angin menggunakan *aiflow anemometer*

Jarak (cm)	Kecepatan angin (m/s)		
	Tanpa <i>Wind Tunnel</i>	<i>Wind Tunnel 50 cm</i>	<i>Wind Tunnel 100 cm</i>
0	5,8 – 6,0	12,8 – 13,0	11,8 – 12,0
10	5,3 – 5,5	12,4 – 12,8	11,5 – 11,7
50	4,1 – 4,3	10,5 – 10,8	10,2 – 10,4
100	0	6,6 – 7,5	3,9 – 4,3

Simulasi di buat dengan menggunakan bantuan *Software Autocad*, berikut hasil simulasi kecepatan angin dengan perbedaan panjang *Wind Tunnel* (50 cm dan 100 cm) dengan memasukan kecepatan angin dari sisi inlet sebesar 5,8 m/s (angin *exhaust fan*), yang ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Simulasi angin *wind tunnel* 50cm

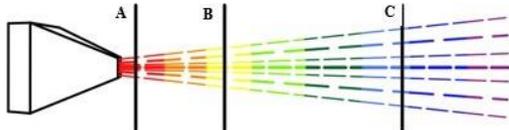


Gambar 9. Simulasi angin *wind tunnel* 100cm

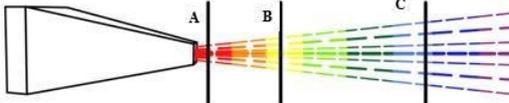
Keterangan :

- : Jarak 10 cm
- : Jarak 50 cm
- : Jarak 100 cm

Hasil simulasi Gambar 8 dan Gambar 9, didapatkan arah angin pada masing-masing outlet *wind tunnel* yang berbeda, perbedaan panjang pada *wind tunnel* mempengaruhi tekanan dan kecepatan angin.

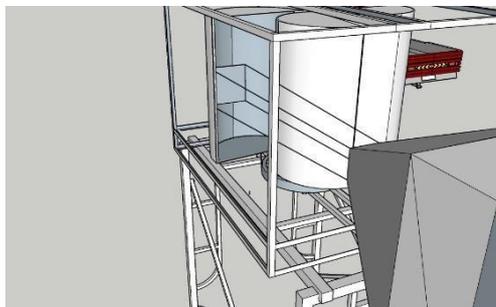


Gambar 10. Sapuan angin *wind tunnel* 50



Gambar 11. Sapuan angin *wind tunnel* 100
Keterangan :

- A** : Luas sapuan angin yang mengenaibilah turbin berjarak 10cm dengan diameter sapuan 11 cm²
- B** : Luas sapuan angin yang mengenaibilah turbin berjarak 50cm dengan diameter sapuan 30 cm²
- C** : Luas sapuan angin yang mengenai bilah turbin berjarak 100cm dengan diameter sapuan 40 cm²



Gambar 12. Simulasi 3d luas sapuan angin

2.3 Pengujian *Prototype*

Pengujian *prototype* pemanfaatan angin buangan *exhaust fan* menggunakan turbin angin vertikal *type-U* dengan pengarah angin (*Wind Tunnel*), terdiri atas 4 pengujian meliputi pengujian *exhaust fan*, pengujian kecepatan angin, pengujian kecepatan generator dan turbin, dan output generator yang dihasilkan, pengambilan sampel dilakukan sebanyak 5 kali 1 menit per 1 waktu.

1. Pengujian *Exhaust Fan*

Pengujian *exhaust fan* dilakukan untuk mengetahui performa *exhaust fan* tanpa pemasangan turbin angin. Hal ini dilakukan

untuk mengetahui parameter kenaikan arus dari *exhaust fan*, dimana kenaikan arus dapat mempengaruhi performa *exhaust fan*.

Tabel 3. hasil pengukuran arus *exhaust fan*

Waktu	Arus <i>exhaust fan</i> tanpa turbin (A)	Arus <i>exhaust fan</i> dengan turbin (A)
1	1,1	1,1
2	1,1	1,2
3	1,2	1,1
4	1,1	1,2
5	1,2	1,2
Rata-rata	1,14	1,16

2. Pengujian kecepatan angin tanpa dan dengan *wind tunnel*

Tabel 4. Hasil rata-rata pengukuran kecepatan angin tanpa dan dengan *wind tunnel*

Pengujian	Kecepatan angin (m/s)			Rata-rata (m/s)
	Jarak (cm)			
	10	50	100	
Tanpa Wind Tunnel	5,4	4,2	0	3,2
Wind Tunnel 50 cm	12,6	10,6	7,1	10,1
Wind Tunnel 100 cm	11,6	10,3	6,9	9,6

Hasil analisis dari Tabel 4. didapatkan kecepatan angin tertinggi terjadi pada saat pemasangan *wind tunnel* 50 cm yaitu 10,1 m/s, sedangkan kecepatan angin pada saat pemasangan *wind tunnel* 100 cm yaitu 9,6 m/s dan kecepatan angin terendah yaitu pada saat pengujian tanpa menggunakan *wind tunnel* 3,2 m/s. Kenaikan kecepatan yang terjadi pada saat pemasangan *wind tunnel* disebabkan ukuran luas *wind tunnel* yang perlahan-lahan mengecil sehingga terjadinya penekanan udara di dalam *wind tunnel*, sehingga angin yang keluar melalui *wind tunnel* menjadi meningkat.

3. Perhitungan Daya angin

Berdasarkan data kecepatan angin menggunakan *wind tunnel* 50 cm dan *wind tunnel* 100 cm pada Tabel 4. Maka daya angin yang dapat dihasilkan dari turbin angin menggunakan *wind tunnel* 50 cm dan 100 cm dengan jarak 10 cm, 50 cm, dan 100 cm dapat di peroleh dengan persamaan 2 berikut :

$$P_w = \frac{\rho \times c_p \times A \times v^3}{2}$$

Tabel 5. Hasil perhitungan daya angin

Jarak (cm)	Potensi daya angin (W)	
	Wind tunnel 50 cm	Wind tunnel 100 cm
10	98,14	76,57
50	58,43	53,61
100	17,55	16,11

4. Hasil pengukuran kecepatan putar turbin dan generator tanpa dan dengan wind tunnel

Tabel 6. Hasil rata-rata pengukuran kecepatan putar turbin tanpa dan dengan wind tunnel

Pengujian	Kecepatan Putar (rpm)			Rata-rata (rpm)
	Jarak (cm)			
	10	50	100	
Tanpa Wind Tunnel	390	335	0	241,6
Wind Tunnel 50 cm	700	688	582	656,6
Wind Tunnel 100 cm	565	482	411	486

Tabel 7. Hasil rata-rata pengukuran kecepatan putar generator tanpadan dengan wind tunnel

Pengujian	Kecepatan Putar (rpm)			Rata-rata (rpm)
	Jarak (cm)			
	10	50	100	
Tanpa Wind Tunnel	40	17	0	19
Wind Tunnel 50 cm	44	43	36,6	41,2
Wind Tunnel 100 cm	35,6	30	27	30,8

5. Hasil pengukuran kecepatan putar turbin dan generator menggunakan wind tunnel 50 cm dan 100 cm berbeban

Tabel 8. Hasil rata-rata pengukuran kecepatan putar turbin dengan wind tunnel

Jarak (cm)	Beban (ohm)	Wind tunnel 50 cm	Wind tunnel 100 cm
10	80	42,8	33,8
	160	42,2	32,8
	250	42	31,8
	330	41,6	30,8
50	80	40,8	29,8
	160	38,8	28,8
	250	38,2	27,8
	330	37,2	27,4
100	80	37,2	26,8
	160	35,6	26,6
	250	34,4	26,4
	330	32,6	26,2

Tabel 9. Hasil rata-rata pengukuran kecepatan putar generator dengan wind tunnel

Jarak (cm)	Beban (ohm)	Wind tunnel 50 cm	Wind tunnel 100 cm
10	80	686,8	540
	160	675	526
	250	673	509,6
	330	664,6	494,8
50	80	651,4	476,6
	160	621	460,8
	250	611,8	444,8
	330	596,6	437,8
100	80	596,2	428,6
	160	567,6	425,8
	250	550,2	421,8
	330	521,4	419,8

6. Hasil pengukuran tegangan, arus, dan daya generator menggunakan wind tunnel 50 cm dan 100 cm berbeban

Tabel 10. Hasil rata-rata pengukuran tegangan

Jarak (cm)	Beban (ohm)	Wind tunnel 50 cm	Wind tunnel 100 cm
10	80	3,58	3,38
	160	3,28	3,12
	250	3,18	3,02
	330	3,08	2,92
50	80	3,48	3,08
	160	3,28	2,98
	250	3,08	2,88
	330	2,98	2,8
100	80	3,18	2,88
	160	3,08	2,76
	250	2,98	2,74
	330	2,92	2,72

Tabel 11. Hasil rata-rata pengukuran arus

Jarak (cm)	Beban (ohm)	Wind tunnel 50 cm	Wind tunnel 100 cm
10	80	1,0	0,88
	160	0,78	0,78
	250	0,76	0,7
	330	0,74	0,66
50	80	0,9	0,76
	160	0,78	0,7
	250	0,74	0,6
	330	0,7	0,58
100	80	0,7	0,6
	160	0,7	0,58
	250	0,68	0,56
	330	0,66	0,54

Tabel 12. Hasil rata-rata pengukuran daya

Jarak (cm)	Beban (ohm)	Wind tunnel 50 cm	Wind tunnel 100 cm
10	80	3,58	2,97
	160	2,55	2,43
	250	2,41	2,11
	330	2,27	1,92
50	80	3,13	2,34
	160	2,55	2,08
	250	2,27	1,72
	330	2,08	1,62
100	80	2,48	1,72
	160	2,15	1,60
	250	2,02	1,53
	330	1,92	1,46

Hasil analisis berdasarkan Tabel 6. sampai dengan Tabel 12. wind tunnel 50 cm maupun wind tunnel 100 cm sama-sama

mengalami penurunan kecepatan, pengaruh perbedaan pembebanan dan perbedaan jarak mempengaruhi tegangan, arus, dan daya generator. Semakin bertambahnya jarak (cm), maka semakin berkurang kecepatan angin (m/s) yang diterima oleh turbin. Nilai arus dan tegangan yang dihasilkan generator bergantung pada kecepatan putar generator.

7. Perhitungan torsi

Torsi merupakan besaran yang menyatakan besarnya gaya yang bekerja pada suatu benda yang menyebabkan benda itu berotasi. Pada pengukuran yang dilakukan pada pengujian turbin dengan *wind tunnel* terhadap variasi pembebanan yang berbeda-beda. Berikut perhitungan untuk menemukan nilai torsi yang dihasilkan dengan persamaan 3.

$$T = \frac{P_w}{2\pi n}$$

60

Tabel 13. Perbandingan hasil torsi dari *wind tunnel* 50 dan 100 cm

Jarak (cm)	Beban (ohm)	Wind tunnel 50 cm	Wind tunnel 100 cm
10	80	0,83	0,80
	160	0,57	0,70
	250	0,54	0,63
	330	0,52	0,59
50	80	0,69	0,75
	160	0,62	0,69
	250	0,57	0,59
	330	0,53	0,56
100	80	0,63	0,61
	160	0,57	0,57
	330	0,56	0,53

8. Analisis perbandingan daya exhaust fan tanpa dan dengan wind tunnel

Berdasarkan hasil pengujian, perhitungan daya yang di dapat oleh turbin angin tanpa *wind tunnel* dan menggunakan *wind tunnel* dapat di lihat pada tabel berikut:

Tabel 14. Hasil pengukuran arus dan tegangan *exhaust fan* tanpa dan dengan *wind tunnel*

Sampel	Pengukuran <i>exhaust fan</i> dengan <i>wind tunnel</i>			
	Tegangan	Arus		
		<i>Exhaust fan</i> normal	Wind tunnel 50cm	Wind tunnel 100cm
1	220	1,1	1,6	1,4
2	220	1,1	1,7	1,4
3	220	1,2	1,7	1,5
4	220	1,1	1,7	1,5
5	220	1,2	1,7	1,5
Rata - rata	220	1,14	1,68	1,46

Tabel 15. Rata-rata daya *exhaust fan* tanpandan dengan *wind tunnel*

Pengujian	Daya <i>exhaust fan</i> (watt)					Rata - rata (W)
	sampel					
	1	2	3	4	5	
<i>Exhaust fan</i> normal	248	249	249	250	250	249,2
WT 50 cm	367	368	368	369	369	368,2
WT 100 cm	319	320	319	321	321	320

Berdasarkan Tabel 15 penambahan *wind tunnel* 50 cm, daya *exhaust fan* meningkat 119 watt dari 249,2 watt menjadi 368,2 watt. Sama seperti pemasangan *wind tunnel* 50 cm, pada saat pemasangan *wind tunnel* 100 cm, daya *exhaust fan* meningkat 70,8 watt dari 249,2 watt menjadi 320 watt.

9. Analisis Efisiensi hasil output *wind tunnel*

Berikut ini merupakan hasil perhitungan efisiensi sistem PLTB pada setiap variasi pembebanan menggunakan persamaan 6 berikut :

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\%$$

Tabel 16. Perbandingan efisiensi *wind tunnel* 50 cm dan 100 cm

Wind Tunnel (cm)	Beban (ohm)	Efisiensi (%)		
		Jarak Wind Tunnel Dengan Turbin (cm)		
		10	50	100
50	80	3,65%	5,36%	14,12%
	160	2,60%	4,36%	12,24%
	250	2,46%	3,88%	11,50%
	330	2,31%	3,56%	10,93%
100	80	3,88%	4,36%	10,67%
	160	3,17%	3,88%	9,93%
	250	2,76%	3,21%	9,49%
	330	2,51%	3,02%	9,06%

Dari analisis yang telah dilakukan pada Tabel 16. efisiensi tertinggi pada pemasangan *wind tunnel* 50 cm yaitu 14,12% dengan beban 80 ohm jarak 100 cm sedangkan nilai efisiensi tertinggi pada pemasangan *wind tunnel* 100 cm yaitu 10,67% dengan beban 80 ohm jarak 100 cm. Dari perbandingan nilai efisiensi pada saat menggunakan *wind tunnel*, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *wind tunnel* 50 cm dengan jarak 100 cm serta beban 80 ohm merupakan jenis dan jarak yang optimal dalam pengujian prototipe PLTB.

5. KESIMPULAN

1. Perancangan *Prototype* PLTB dengan memanfaatkan angin *exhaust fan kitchen* berhasil di buat, dengan model *contraction* yaitu berbentuk trapezium, pada penelitian ini perbandingan yang digunakan yaitu 1 : 5 (inlet 55 cm² : 11 cm²) serta panjang pada masing- masing *wind tunnel* yaitu 50 cm dan 100cm.
2. Penambahan *wind tunnel* meningkatkan kecepatan angin dibandingkan tanpa menggunakan *wind tunnel* yang secara langsung meningkatkan putaran turbin dan putaran generator, akan tetapi pengaruh perbedaan jarak dan pembebanan mengakibatkan penurunan pada kecepatan angin, turbin dan generator yang secara langsung mempengaruhi torsi dan juga output yang dihasilkan generator.
3. Pemasangan *wind tunnel* membuat daya input *exhaust fan* meningkat. Hal ini karena angin yang melalui *wind tunnel* mengalami peningkatan tekanan yang secara langsung mempengaruhi kinerja *exhaust fan*.
4. Efisiensi yang di peroleh dapat disimpulkan bahwa *wind tunnel* yang paling optimal pada pengujian pembangkit listrik tenaga listrik tenaga bayu dengan turbin angin vertikal tipe-U dengan pengarah angin *wind tunnel* menggunakan sumber angin buangan *exhaust kitchen* yaitu *wind tunnel* 50 cm jarak 100 cm dengan beban 80 ohm.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Febriani, W.M., 2021. "Rancang Bangun Sistem Pemanen Energi Angin *Exhaust Fan* Dengan Pengaruh Jarak Turbin Angin Sumbu Horizontal Bilah *Exhaust Fan*". Jurnal Spektrum Vol 8 No 2 (2021). Diakses pada tanggal 18 November 2021
- [2] Marabdi., 2016. "Rancang Bangun *Wind Tunnel* Sederhana Untuk Alat Pendukung Studi Eksperimental". Jurnal Ilmiah Teknik Mesin ITM, Vol 2 No.2. 2016. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- [3] Siregar, dan Lubis, F., 2019. "Uji Keadaan *Prototype* Turbin Angin Savonius Tipe-U Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif". Jurnal Ilmiah MEKANIK Teknik Mesin ITM, Vol 5 No. 1, 2019: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
- [4] Sudarto., 2011. "Pemanfaatan dan Pengembangan Energi Angin Untuk Proses Produksi Garam Di Kawasan Timur Indonesia". Jurnal TRITON. Vol 7 No 2: 61-7. Diakses pada tanggal 20 Desember 2021
- [5] Hakim, L dan Rijanto, A, 2018 "Studi Experimental Kinerja Turbin Angin *Darrieus-Savonius (Ds)* Pada Kecepatan Angin Rendah". Jurnal Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VI 2018: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. Diakses pada tanggal 18 November 2021
- [6] Padmika, M, Wibawa I.M.S dan Trisnawati N.L.P., 2017. "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Turbin Ventilator Sebagai Penggerak Generator". Buletin Fisika Vol. 18 No. 2 Agustus 2017 : Universitas Udayana Bali. Diakses pada tanggal 18 November 2021
- [7] Chairany, P dan Sugiyanto, 2016. "Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius Untuk Sistem Penerangan Perahu Nelayan". Jurnal Rekayasa Mesin: Diploma Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, UGM. Diakses pada tanggal 18 November 2021
- [8] Prastiko, Y.C., 2016. "Uji Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe *Darrieus-H* Naca 0018 Modifikasi Dengan Variasi Sudut Pitch 350 ,400 ,450 ,500 ,550 ,600". Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Diakses pada tanggal 18 November 2021. Diakses pada tanggal 18 November 2021
- [9] Dharma, S dan Masherni, 2016 dalam penelitiannya yang berjudul "Pengaruh Desain Sudu Terhadap Unjuk Kerja *Prototype* Turbin Angin Vertical Axis Savonius. Turbo Vol. 5 No. 2. 2016 p-ISSN: 2301-6663, e-ISSN: 2477-250X. Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro Lampung. Diakses pada tanggal 18 November 2021