

RANCANG BANGUN SISTEM PEMANEN ENERGI ANGIN *EXHAUST FAN* DENGAN PENGARUH JARAK TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL BILAH *EXHAUST FAN*

Mawadah Wr Febriyani¹, I Wayan Sukerayasa², Cokorde Gede Indra Partha³

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

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Bukit, Jimbaran, Bali

mawadah.febriyani@gmail.com¹, sukerayasa@unud.ac.id², cokindra@unud.ac.id³

ABSTRAK

Kebutuhan energi di Indonesia semakin meningkat, terutama dalam realisasi konsumsi listrik yang mencapai 20,18 TWh pada bulan Juli 2020. Dalam pemenuhan energi Indonesia masih disokong energi fosil. Cadangan energi fosil Indonesia terus menurun, sehingga perlu dilakukan peningkatan bauran energi non fosil, salah satunya adalah energi angin. Angin keluaran *exhaust fan* merupakan energi buang yang mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik tenaga angin berskala mikro. Telah dilakukan Rancang Bangun Sistem Pemanen Energi Angin *Exhaust Fan* Dengan Pengaruh Jarak Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) Bilah *Exhaust Fan*, dalam penelitian ini dilakukan uji untuk menentukan *output* optimal dari generator dengan memperhatikan performa *exhaust fan*. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa jarak terdekat 10 cm menghasilkan kecepatan angin dan daya maksimal, namun jarak peletakkan optimal untuk turbin yang dirancang adalah pada jarak 20 cm dengan daya *output* yang dihasilkan 1,50 Watt dan kenaikan daya konsumsi *exhaust fan* sebesar 0,38, dengan daya yang dapat dipanen yaitu sebesar 1,12 Watt, lebih besar dari jarak uji yang lain.

Kata Kunci : *Exhaust Fan*, PLTB, TASH, Jarak

ABSTRACT

Energy demand in Indonesia is increasing, especially in the realization of electricity consumption which reached 20.18 TWh in July 2020. In fulfilling energy, Indonesia is still supported by fossil energy. Indonesia's fossil energy reserves continue to decline, so it is necessary to increase the non-fossil energy, one of which is wind energy. Wind exhaust fan output is waste energy that has the potential to be developed as a micro-scale wind power plant. The Design and Construction of the Exhaust Fan Wind Energy Harvesting System with the Effect of the Horizontal Axis Wind Turbine Distance (HAWT) of the Exhaust Fan Blade has been done, the test of this study determine the optimal output power of the generator by considering the exhaust fan performance. The test results show that the closest distance of 10 cm produces maximum wind speed and power, but the optimal placement distance for the turbine designed is 20 cm with an output power of 1.50 Watt and an increase in exhaust fan consumption power of 0.38, with the power that can be harvested is $1.50 - 0.38 = 1.12$ Watt, greater than the other test distances.

Keyword : *Exhaust Fan*, Wind Power Plant, HAWT, Distance

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia semakin meningkat, Direktur Pembinaan dan Pengusahaan Ketenagalistrikan

Kementrian ESDM, menyatakan konsumsi listrik pada Juli 2020 mencapai 20,18 TWh, meningkat dari bulan sebelumnya yang hanya mencapai 19,2 TWh. Berdasarkan

data Dewan Energi Nasional (DEN) pada buku Bauran Energi Nasional Tahun 2020, pemenuhan energi di Indonesia masih disokong oleh energi fosil yaitu 33,58% minyak bumi, 37,15% batu bara, 20,13% gas bumi dan ETB 9.15% [1]. Sedangkan data Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) menunjukkan cadangan bahan bakar fosil Indonesia terus menurun, sehingga penghematan energi perlu dilakukan untuk mengatasi masalah krisis energi tersebut.

Penggunaan sumber energi alternatif dari energi angin buangan *exhaust fan* untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan salah satu solusi penghematan yang dapat digunakan. Pemanfaatan energi angin buangan *exhaust fan* di sebuah industri sebagai sumber energi pembangkit listrik tenaga bayu dapat menghemat penggunaan energi hingga 13% per tahun pada industry [2]. Berdasarkan beberapa penelitian yang sudah dilakukan, penggunaan energi angin buangan dari *exhaust fan* sebagai sumber energi angin alternatif dianggap cukup efektif karena karakteristik angin yang dihasilkan stabil dan dapat diprediksi sehingga kecepatan putaran turbin konstan.

Pada penelitian ini dirancang sebuah prototipe sistem pemanen energi angin *exhaust fan* dengan turbin angin sumbu horizontal. Pemilihan sumbu horizontal dikarenakan penggunaan bilah turbin angin sumbu vertikal dengan sumber energi angin buangan *exhaust fan* yang sama hanya mampu menghasilkan daya sebesar 0,38 watt [3]. Sehingga dilakukan penelitian ini untuk mengetahui daya yang dapat dihasilkan dengan penggunaan turbin jenis horizontal. Penelitian ini akan difokuskan pada penggunaan bilah turbin horizontal yang dibuat sama dengan bilah *exhaust fan* serta pengaruh jarak turbin angin dengan mempertimbangkan performa *exhaust fan* untuk mendapatkan daya output yang optimal.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Angin merupakan pergerakan udara yang disebabkan oleh perbedaan tekanan di permukaan bumi. Penerimaan intensitas radiasi surya yang tidak merata pada setiap permukaan bumi, menyebabkan perbedaan suhu sehingga terjadi perbedaan tekanan udara. Angin bergerak dari daerah dengan tekanan udara tinggi menuju ke daerah dengan tekanan udara rendah [4].

2.2 Turbin Angin Horizontal

Turbin angin adalah alat pada sistem konversi energi angin yang berfungsi mengubah energi mekanik putaran poros menjadi energi listrik [5].

Horizontal Axis Wind Turbine atau Turbin Angin Sumbu Horizontal adalah turbin angin yang memiliki posisi sumbu mendatar dengan poros utama yang menyesuaikan arah angin [6]. Kelebihan turbin horizontal yaitu memiliki jarak bilah yang bervariasi untuk mengumpulkan jumlah maksimum energi dari angin serta memiliki efisiensi yang lebih tinggi karena memiliki bilah yang tegak lurus dengan arah angin [7]. Kekurangan turbin angin sumbu horizontal yaitu memiliki sudu yang berat sehingga dibutuhkan konstruksi penyangga menara yang juga besar serta mekanisme tambahan agar sudu mampu menyesuaikan dengan semua arah angin [3].



Gambar 1. Turbin Angin Sumbu Horizontal [8]

2.3 Bilah Turbin Angin

Bilah (*blade*) adalah komponen utama turbin angin yang terbuat dari plat rata. Berikut beberapa faktor yang mempengaruhi bilah turbin angin

1. Tip Speed Ratio

Tip speed ratio merupakan perbandingan kecepatan sudu terhadap kecepatan udara yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut [8]:

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_0} \quad (1)$$

λ = *Tip speed ratio*

ω = Kecepatan sudut rotor turbin (rad/s)

R = Jari-jari rotor (m)

V_0 = Kecepatan awal udara (m/s)

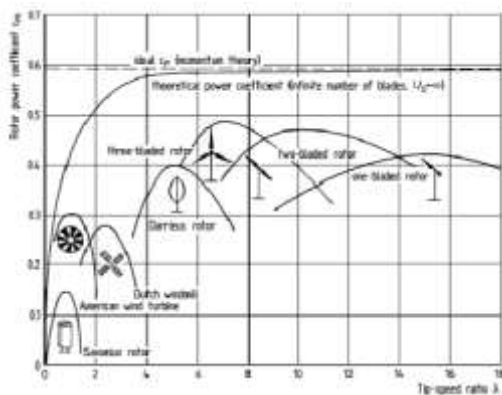
Tip speed ratio berbanding lurus terhadap efisiensi turbin, dimana semakin besar nilai *tip speed ratio* maka semakin besar nilai efisiensinya [5].

2. Koefisien Daya (C_p)

Kecepatan putar turbin yang tidak stabil menyebabkan daya *output* turbin yang berubah-ubah, dimana perubahan kinerja rotor ini dapat diketahui dengan grafik hubungan antara *tip speed ratio* terhadap koefisien daya [8]. Koefisien daya (C_p) adalah nilai maksimum efisiensi turbin dalam mengkonversi energi kinetik menjadi energi mekanik, berdasarkan standard *Betz limit* nilai C_p ideal adalah 0,593 [5]. Koefisien daya dapat dihitung dengan membandingkan daya *output* turbin terhadap daya *input* turbin yang dinyatakan dengan persamaan berikut [8]:

$$C_p = \frac{P_{mekanik}}{P_{angin}} \quad (2)$$

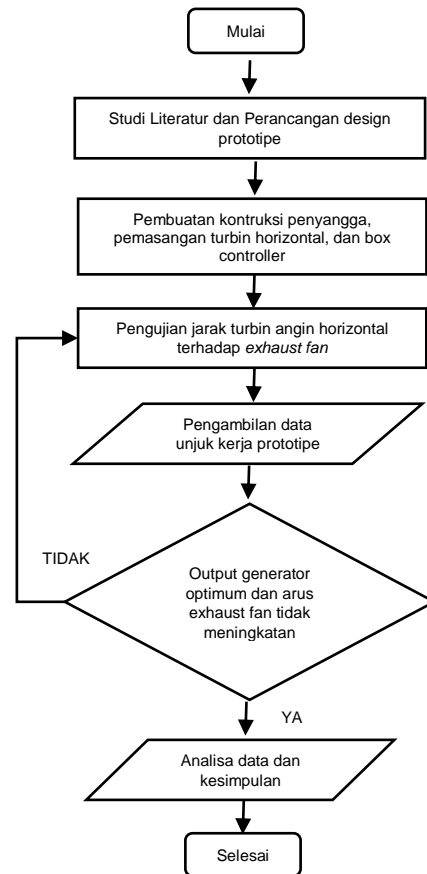
Nilai koefisien daya juga dapat diketahui dengan grafik hubungan *tip speed ratio* terhadap koefisien momen seperti pada Gambar 2 [9].



Gambar 2. Nilai Koefisien Daya dari Berbagai Desain Rotor Turbin [9].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran. dengan waktu pelaksanaan dimulai dari bulan Februari sampai Mei 2021. Diagram alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram Alur Penelitian

Diagram alur penelitian sistem pemanen energi angin *exhaust fan* dengan pengaruh jarak turbin angin sumbu horizontal bilah *exhaust fan* adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dimulai dengan studi literatur yang digunakan sebagai dasar perancangan *design* prototipe.
2. Pembuatan konstruksi penyangga disesuaikan dengan jenis turbin horizontal yang digunakan kemudian, dilakukan pemasangan turbin dan *box controller*.
3. Pengujian jarak turbin angin horizontal terhadap *exhaust fan*

dilakukan dengan 5 variasi jarak uji yaitu, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, dan 50 cm selama 1 jam untuk setiap jarak uji.

4. Pengambilan data unjuk kerja dilakukan untuk kelima jarak uji. Data unjuk kerja berupa kecepatan angin, kecepatan putar turbin, tegangan dan arus generator sehingga didapatkan daya *output* generator serta tegangan dan arus *exhaust fan* sehingga didapatkan daya konsumsi *exhaust fan*.
5. Saat data unjuk kerja menunjukkan daya *output* generator yang dihasilkan optimum dan arus *exhaust fan* tidak mengalami kenaikan maka penelitian dilanjutkan dengan analisa data, jika tidak maka akan dilakukan pengujian jarak turbin kembali untuk mendapatkan jarak optimal peletakan turbin angin.
6. Setelah dilakukan analisa data maka didapat kesimpulan dari penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan

Perancangan pemanen energi angin *exhaust fan* dengan pengaruh jarak turbin angin sumbu horizontal dengan bilah *exhaust fan* ini terdiri dari perancangan turbin angin sumbu horizontal, perancangan dudukan *exhaust fan*, perancangan konstruksi pengujian, dan perancangan *data logger*.

4.1.1 Hasil Perancangan Turbin Angin Horizontal

Pada perancangan ini, turbin angin horizontal dibuat sama persis dengan bilah *exhaust fan* yang digunakan dengan bilah *exhaust fan* yang digunakan dengan diameter yang sama yaitu 20 inch dan jumlah bilah sama yaitu 4 bilah. Berikut tabel spesifikasi dan gambar realisasi turbin angin yang dirancang.

Tabel 1. Spesifikasi Turbin Angin Horizontal Bilah *Exhaust Fan* 20 inch

Jumlah Bilah	4 Bilah
Diameter Bilah	49 cm
Tebal Bilah	1 mm
Panjang Bilah	21 cm
Diameter Hub	7 cm

Diameter Lubang Poros	10 mm
Panjang Poros	7,8 cm
Material	Metal Body



Gambar 4. Realisasi Turbin Angin Horizontal Bilah *Exhaust Fan*

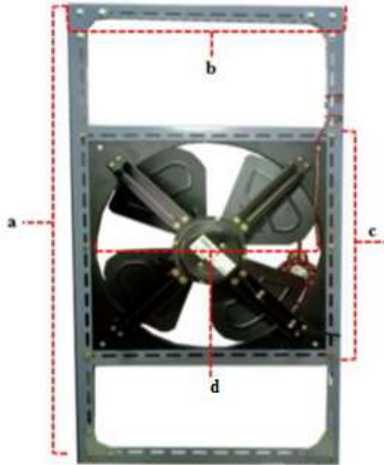
Turbin angin berfungsi untuk memutar generator, pada perancangan ini turbin angin akan di kopel dengan generator DC (*Direct Current*) Magnet Permanen.

4.1.2 Hasil Perancangan Dudukan *Exhaust Fan*

Dudukan *exhaust fan* berfungsi sebagai tempat peletakan *exhaust fan*, sehingga *exhaust fan* dapat digerakkan ke depan atau ke belakang menyesuaikan jarak pengujian. Perancangan dudukan *exhaust fan* dibuat dengan menggunakan besi siku lubang, untuk mempermudah perpindahan peletakan *exhaust fan*. Berikut spesifikasi dudukan *exhaust fan* serta gambar realisasi dudukan yang dirancang.

Tabel 2. Spesifikasi Dudukan *Exhaust Fan* 20 Inch

Tinggi Dudukan (a)	115 cm
Lebar Dudukan (b)	62 cm
Panjang sisi-sisi pegangan (c)	60 cm
Material Dudukan	Besi Siku Lubang
Diameter <i>Exhaust Fan</i> (d)	52 cm
Daya <i>Exhaust Fan</i>	350 Watt
Tegangan Motor <i>Fan</i>	220 Volt
Model <i>Exhaust Fan</i>	APK50-A1



Gambar 5. Realisasi Dudukan *Exhaust Fan*

4.2 Hasil Pengujian

Pengujian jarak turbin dilakukan untuk mendapatkan jarak optimal peletakan turbin angin sumbu horizontal terhadap *exhaust fan*. Sumber angin yang digunakan berasal dari udara buang *exhaust fan*. Pengaturan jarak turbin dilakukan dengan mengatur posisi *exhaust fan* terhadap turbin angin dengan 5 jarak pengujian yaitu 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm dan 50 cm. Berikut merupakan gambar realisasi pengujian jarak turbin



Gambar 6. Realisasi Pengujian Jarak Turbin Angin Terhadap *Exhaust Fan*

4.2.1 Pengujian Kecepatan Angin

Pengujian potensi kecepatan angin dilakukan dengan melakukan pengukuran pada masing-masing jarak uji. Titik pengukuran kecepatan angin dilakukan pada 4 titik variasi koordinat x,y pada bilah yaitu (18,0), (-18,0), (0,18), (0,-18). Berikut merupakan hasil rata-rata pengujian kecepatan angin setiap jarak pengujian.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Rata-Rata Kecepatan Angin pada Setiap Jarak Pengujian

Grafik diatas menunjukkan semakin dekat jarak pengujian terhadap sumber angin maka semakin besar kecepatan angin yang didapat. Hal ini dikarenakan semakin dekat turbin dengan sumber angin, maka ruang gerak udara lain begitu kecil, atau tidak terdapat aliran silang yang tegak lurus terhadap arah aliran angin.

4.2.2 Pengujian *Exhaust Fan* Tanpa Turbin

Pengujian *exhaust fan* tanpa pemasangan turbin dilakukan untuk mengetahui kenaikan arus *exhaust fan* setelah dioperasikan selama 60 menit sehingga diketahui performa dari *exhaust fan*. Berikut merupakan grafik hasil sample pengujian arus dan tegangan *exhaust fan* berdasarkan pengukuran yang dilakukan selama 60 menit



Gambar 8. Grafik Pengujian *Exhaust* Tanpa Turbin

Grafik diatas menunjukkan hasil pengukuran arus *exhaust fan* mengalami peningkatan dengan rata-rata 0,69 A. Sedangkan tegangan *exhaust fan* relatif konstan dengan rata-rata 227,68 Volt serta konsumsi daya *exhaust fan* meningkat seiring dengan peningkatan arus *exhaust fan* dan di dapat rata-rata daya konsumsi *exhaust fan* tanpa turbin dengan nilai

cosphi exhaust fan terukur = 0,998 yaitu sebesar 156,41 Watt.

4.2.3 Pengujian Kecepatan Putar Turbin Sebelum dan Setelah Dibebani

Pengujian kecepatan putaran turbin dilakukan dengan melakukan pengukuran putaran turbin pada 5 variasi jarak untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap putaran turbin. Pengujian dilakukan sebelum dan setelah dibebani *Resistor* 10 Ohm 5 Watt untuk mengetahui pengaruh beban terhadap putaran turbin angin. Berikut grafik perbandingan rata-rata kecepatan putaran turbin tak bebani dan kecepatan putaran turbin bebani pada setiap jarak pengujian yang dilakukan selama 60 menit pada setiap jarak pengukuran.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Rata-Rata Kecepatan Putaran Turbin

Grafik perbandingan di atas menunjukkan semakin dekat jarak pengujian maka semakin besar kecepatan putar turbin yang dihasilkan baik saat bebani maupun tidak bebani. Grafik diatas juga menunjukan kecepatan putar turbin sebelum dibebani lebih besar dibanding kecepatan putar turbin setelah dibebani. Hal ini dikarenakan saat dibebani tegangan generator akan turun, sehingga putaran turbin yang berbanding lurus terhadap tegangan juga akan mengalami penurunan.

4.2.4 Pengujian Tegangan, Arus, dan Daya Output Generator Terhadap Jarak Pengujian

Pengujian generator dilakukan dengan melakukan pengukuran tegangan, arus dan daya *output* generator pada 5 jarak uji peletakan *exhaust fan* terhadap turbin untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap daya yang dihasilkan oleh

generator. Pengujian dilakukan setelah dibebani dengan *Resistor* 10Ω 5 Watt. Berikut grafik perbandingan hasil rata-rata pengukuran daya generator DC pada setiap jarak pengujian.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Daya Generator Terhadap Jarak Pengujian

Grafik diatas menunjukkan semakin jauh jarak pengujian maka semakin kecil daya yang dihasilkan. Data pengujian menunjukkan performa terbaik terdapat pada jarak terdekat yaitu 10 cm dengan tegangan generator yang dihasilkan sebesar 5,09 Volt, arus 0,25 Ampere dan daya output generator sebesar 0,61 Watt.

4.2.5 Pengujian Tegangan, Arus dan Daya Exhaust Fan Terhadap Jarak Pengujian

Pengujian tegangan, arus dan daya konsumsi *exhaust fan* dilakukan dengan melakukan pengukuran tegangan, arus dan daya *output* generator pada 5 variasi jarak peletakan *exhaust fan* terhadap turbin untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap performa *exhaust fan*. Pengujian dilakukan setelah dibebani dengan *Resistor* 10Ω 5 Watt. Berikut grafik perbandingan rata-rata pengukuran daya konsumsi *exhaust fan* dengan nilai *cosphi exhaust fan* terukur yaitu 0,998 yang dilakukan selama 60 menit pada setiap jarak pengujian.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Daya Exhaust Fan Terhadap Jarak Pengujian

Grafik diatas menunjukkan jarak peletakan turbin berpengaruh terhadap daya konsumsi *exhaust fan*, dimana semakin dekat turbin dengan *exhaust fan* maka arus *exhaust fan* akan meningkat sehingga dapat menurunkan performa dari *exhaust fan* itu sendiri.

Dari data pengujian diatas diketahui daya konsumsi *exhaust fan* terbesar berada pada jarak peletakan turbin terdekat yaitu pada jarak 10 cm yaitu sebesar 158,60 Watt.

4.3 Analisa Pengaruh Jarak Pengujian Turbin Terhadap Daya Output Generator dan Performa Exhaust Fan

Menentukan jarak optimal dilakukan dengan beberapa analisa selisih antara daya generator yang dihasilkan dan selisih kenaikan daya konsumsi pada *exhaust fan*. Berikut merupakan kalkulasi data untuk mendapatkan jarak optimal peletakan turbin.

1. Perbandingan Daya Exhaust Fan dengan Turbin dan Daya Exhaust Fan tanpa turbin

Dari perbandingan daya konsumsi *exhaust fan* dengan turbin dan daya konsumsi *exhaust fan* sebelum dipasang dengan turbin diatas maka dapat dihitung selisih daya yang dihasilkan sehingga dapat diketahui seberapa besar pengaruh peningkatan daya untuk setiap jarak pengujian. Berikut hasil perhitungan selisih daya konsumsi *exhaust fan* dengan turbin dan daya konsumsi *exhaust fan* sebelum dipasang dengan turbin

Tabel 3. Perbandingan Selisih Konsumsi Daya Exhaust Fan tiap Jarak Pengujian

Jarak (cm)	Daya Exhaust Dengan Turbin (Watt)	Daya Exhaust Tanpa Turbin (Watt)	Selisih Daya (Watt)
10	158,60	156,41	2,19
20	156,79	156,41	0,38
30	156,56	156,41	0,15
40	156,43	156,41	0,02
50	156,42	156,41	0,01

2. Perbandingan Daya Output Generator (Daya yang Dihasilkan) dengan Selisih Peningkatan Daya Konsumsi Exhaust Fan (Daya yang Digunakan)

Dari perbandingan daya *output* generator (daya yang dihasilkan) dengan peningkatan daya konsumsi *exhaust fan* (daya yang digunakan) maka dapat dihitung besar daya atau energi yang dapat dipanen atau dihasilkan untuk setiap jarak pengujian. Berikut hasil perhitungan selisih perbandingan daya *output* generator dengan peningkatan daya konsumsi *exhaust fan*

Tabel 4. Perbandingan Daya yang Dapat Dipanen Setiap Jarak Pengujian

Jarak (cm)	Daya Output Generator (Watt)	Peningkatan Daya Konsumsi Exhaust (Watt)	Daya Yang Dapat Dipanen (Watt)
10	2,42	2,19	0,23
20	1,50	0,38	1,12
30	1,06	0,15	0,91
40	0,76	0,02	0,74
50	0,61	0,01	0,60

Tabel diatas menunjukkan semua jarak pengujian dapat menghasilkan daya untuk dipanen, namun daya maksimal yang dapat dipanen berada pada jarak 20 cm yaitu dengan daya yang dihasilkan sebesar 1,50 Watt dengan peningkatan daya konsumsi *exhaust fan* sebesar 0,38 Watt akibat pengaruh pemasangan turbin sehingga didapat daya sisa yang dapat dipanen sebesar 1,12 Watt Oleh karena itu, dapat disimpulkan jarak optimal peletakan turbin berada pada jarak 20 cm.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa pada penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perancangan sistem pemanen energi yang memanfaatkan udara buang *exhaust fan* dengan pengaruh turbin angin horizontal bilah *exhaust fan* berhasil dirancang. Sistem pemanen energi terdiri rangkaian kontrol, wahana pengujian, dudukan *exhaust fan* dan turbin angin.

2. Pengujian kecepatan angin didapatkan kecepatan angin maksimal pada jarak 10 cm yaitu 6,8 m/s. Pengujian kecepatan putar turbin didapatkan kecepatan putar turbin maksimal pada jarak 10 cm yaitu 1820,13 rpm sebelum dibebani dan 1578.84 rpm. Pengujian tegangan, arus dan daya generator didapat tegangan maksimal pada jarak 10 cm yaitu 5,09 Volt, arus maksimal yaitu 0,48 Ampere dan daya *output* generator maksimal pada jarak 10 cm yaitu 2,43 Watt. Pengujian *exhaust fan* dengan turbin didapat daya konsumsi maksimal pada jarak 10 cm yaitu 158, 92 Watt, sedangkan pada pengujian *exhaust fan* tanpa turbin didapat arus yang meningkat dari 0,67 A sampai 0,70 A dengan rata-rata daya konsumsi sebesar 156,73 Watt.
3. Jarak turbin optimal terhadap *exhaust fan* berada pada jarak 20 cm dari 5 jarak pengujian dengan daya yang dihasilkan sebesar 1,50 Watt dan peningkatan daya konsumsi *exhaust fan* sebesar 0,38 Watt akibat pengaruh pemasangan turbin sehingga didapat daya sisa yang dapat dipanen sebesar 1,12 Watt.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dewan Energi Nasional (DEN). (2020). Bauran Energi Nasional 2020. Jakarta
- [2] Tong, Chong Wen, Poh Sin Chew, Ahmad Fazlizan Abdullah, Oon Cheen Sean dan Tiah Chai Ching. (2011). *Exhaust Air and Wind Energy Recovery System for Clean Energy Generation*. International Conference on Environment and Industrial Innovation IPCBEE. Vol.12
- [3] Yasa, Ketut Dharma. (2020). *Pemanfaatan Udara Buang Exhaust Fan Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Dengan Pengaruh Perbandingan Jumlah Sudu Turbin Vertikal Berbasis Atmega 2560 (Tugas Akhir)*. Bali: Program Studi Teknik Elektro, Universitas Udayana
- [4] Wardhana, Yoga Kusuma, Cok Gede Indra Partha, dan I Wayan Sukerayasa. (2021). *Pemanfaatan Udara Buang Exhaust Fan Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Dengan Pengaruh Penambahan Honeycomb Berbasis Atmega 2560*. Jurnal SPEKTRUM. Vol 8, No.1
- [5] Hansen. Martin O.L. (2015). *Aerodynamics of Wind Turbines, Third Edition*. London and New York: Routledge.
- [6] Mathew, S. (2006). *Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis, and Economics*. Berlin: Springer
- [7] Nongdhar, Deibanehbok, Bikramjit Goswami, Pallav Gogoi, dan Sidharth Borkataky. (2018). *Design of Horizontal Axis Micro Wind Turbine for Low Wind Speed Areas*. ADBU Journal of Electrical and Electronics Engineering (AJEEE). Vol.2 Issue 2.
- [8] Manwell. J.F, J.G McGowan, dan A.L Rogers. (2009). *Wind Energy Explained : Theory, Design, and Application Second Edition*. USA: A John Wiley and Sons, Ltd, Publication.
- [9] Hau, Erich. (2013). *Wind Turbine: Fundamentals, Technologies, Applications, Economics. Third, Translated edition*. Jerman: Springer