

PEMANFAATAN UDARA BUANG *EXHAUST FAN* SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU DENGAN PENAMBAHAN *WIND TUNNEL* BERBASIS ATMEGA 2560

Made Satria Tresnajaya¹, Cok Gede Indra Partha², I Wayan Sukerayasa³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.

Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Bali

Email : satriatresnajaya@gmail.com¹, cokindra@unud.ac.id², sukerayasa@unud.ac.id³

ABSTRAK

Kebutuhan energi dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan konsumsi energi yang tinggi. Hingga saat ini dunia masih bergantung dengan bahan bakar fosil, hal ini menyebabkan menipisnya ketersediaan minyak bumi dan juga menyebabkan polusi udara. Negara berkembang, umumnya memiliki banyak industri berkembang dan juga industri baru tumbuh setiap hari. Setiap industri umumnya memiliki *exhaust fan* untuk menjaga suhu ruangan kerja. *Exhaust fan* ini bekerja dengan mengeluarkan udara dari dalam ke luar. Penelitian ini memanfaatkan udara buang *exhaust fan* dengan menggunakan turbin 2 sudu dan penambahan *wind tunnel*. Pengujian penelitian ini dibagi menjadi 2 yaitu pengujian dengan *wind tunnel* dan pengujian tanpa *wind tunnel* yang nantinya kedua *output* setiap pengujian akan dibandingkan. Penelitian Pemanfaatan Udara Buang *Exhaust fan* sebagai pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan tanpa menggunakan *wind tunnel* mendapatkan *output* sebesar 0,30625 W sedangkan dengan penambahan *wind tunnel output* meningkat 8,25% menjadi 0,76176 W.

Kata kunci: Kebutuhan Energi, *Exhaust Fan*, *Wind tunnel*.

ABSTRACT

Energy needs from year to year has increased along with the increase of population, economic growth, and high energy consumption. Until now, the world still depends on fossil fuels, this causes the depletion of oil availability and also causes air pollution. As a developing country, many industries are running around us and also many new industries are growing every day. Every industry generally has an exhaust fan to maintain the temperature of the work space. This exhaust fan works to remove air from the inside out. This research uses exhaust fan exhaust by using a 2-blade turbine and the addition of a wind tunnel, which will later compare the output between using a wind tunnel and without using a wind tunnel. In the research the use of exhaust fan exhaust air without using a wind tunnel to get an output of 0,30625W while with the addition of wind tunnel output increased by 8,25% to 0,76176W.

Keywords: Energy Needs, *Exhaust Fan*, *Wind tunnel*.

1. PENDAHULUAN

Saat ini Indonesia masih tergantung terhadap bahan bakar fosil yang setidaknya memiliki tiga ancaman serius yaitu menipisnya cadangan minyak bumi, ketidakstabilan harga antara permintaan dengan produksi minyak, dan polusi gas rumah kaca terutama CO₂ yang dapat menimbulkan pemanasan global[1]. Implementasi energi terbarukan yang ramah lingkungan perlu mendapatkan

perhatian serius dari negara baik itu energi dari matahari, air maupun angin. Indonesia memiliki potensi untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan kecepatan angin rata – rata di setiap daerahnya sebesar 4 m/s [2]. Kebutuhan energi listrik sangat banyak di daerah perkotaan, hal ini menjadi tantangan untuk menerapkan sistem pembangkit energi angin karena ruang yang tersedia di perkotaan sangat terbatas. Para peneliti

telah mengusulkan gagasan dari energi angin yang mungkin dapat diterapkan di perkotaan untuk pembangkit energi lokal, baik dengan memanfaatkan geometri bangunan atau kombinasi ruangan, namun kualitas angin tetap menjadi perhatian dalam penentuan tapak turbin angin di daerah perkotaan. *Exhaust Fan* adalah alat yang mempunyai fungsi untuk menjaga sirkulasi udara pada suatu ruangan. Alat ini banyak digunakan untuk mempercepat sirkulasi udara di dalam ruangan kemudian udara tersebut dibuang ke luar ruangan. Udara di dalam yang bersifat panas dipaksa keluar dari ruangan dengan bantuan *fan*. Sistem pembuangan udara ini cocok untuk pembangkit listrik dengan turbin angin sebagai penggerak. Turbin angin dapat ditempatkan di depan udara buangan *exhaust fan* di mana kecepatan angin yang dihasilkan lebih cepat dan konsisten jika dibandingkan dengan angin alami. Angin merupakan sumber energi yang tak ada habisnya sehingga pemanfaatan sistem konversi energi angin akan berdampak positif terhadap lingkungan.

Penelitian ini memanfaatkan energi buang dari *exhaust fan* dengan menambahkan *wind tunnel*. *Wind tunnel* adalah terowongan angin yang berfungsi untuk memfokuskan aliran udara agar udara agar langsung mengenai sudu pada turbin sehingga *output* dapat meningkat. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan *output* dari pembangkitan energi listrik menggunakan udara buang *exhaust fan* dengan menggunakan *wind tunnel*.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Angin

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan di permukaan bumi ini. Angin akan bergerak dari suatu daerah yang memiliki tekanan udara tinggi ke daerah yang memiliki tekanan udara yang lebih rendah. Angin yang bertiup di permukaan bumi ini terjadi akibat adanya perbedaan penerimaan radiasi surya, sehingga mengakibatkan perbedaan suhu udara. Adanya perbedaan tekanan, akhirnya menimbulkan gerakan udara. Perubahan panas antara siang dan malam merupakan gaya gerak utama sistem angin harian, karena beda panas

yang kuat antara udara di atas darat dan laut atau antara udara di atas tanah tinggi (pegunungan) dan tanah rendah (lembah). Udara yang memiliki massa (m) dan kecepatan (v). berikut persamaan kecepatan energi kinetik[3].

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (1)$$

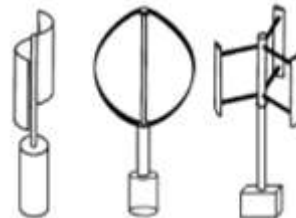
2.2 Generator

Generator merupakan sumber utama energi listrik yang dipakai sekarang ini dan merupakan *converter* terbesar di dunia. Pada prinsipnya tegangan yang dihasilkan bersifat bolak balik, sedangkan generator yang menghasilkan tegangan searah karena telah mengalami proses penyearah.

Generator adalah mesin listrik yang menggunakan magnet untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip generator menggunakan kaidah tangan kanan secara sederhana dapat dikatakan bahwa tegangan diinduksikan pada kontaktor apabila konduktor tersebut bergerak pada medan magnet sehingga memotong garis gaya magnet.

2.3 Turbin Angin Vertikal

Turbin angin vertikal memiliki *shaft* rotor vertikal. Kegunaan utama dari penempatan rotor ini adalah turbin angin tidak perlu diarahkan ke arah angin bertiup. Hal ini sangat berguna pada daerah di mana arah angin sangat variatif atau memiliki turbulensi. Dengan sumbu vertikal, generator dan komponen primer lainnya dapat ditempatkan dekat dengan permukaan tanah. Turbin angin vertikal dalam konstruksinya tidak memerlukan *tower* dalam hal ini menyebabkan *maintenance* lebih mudah. Kekurangan utama dari turbin angin vertikal adalah kecepatan yang dihasilkan tidak secepat turbin horizontal. Gambar 1 merupakan gambaran turbin vertikal.

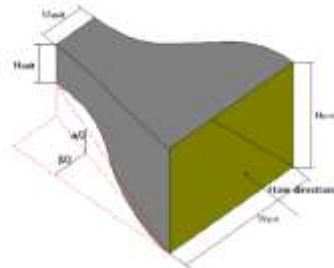


Gambar 1. Gambaran Turbin Vertikal[3]

2.4 Wind Tunnel

2.4.1 Construction (Nozzle)

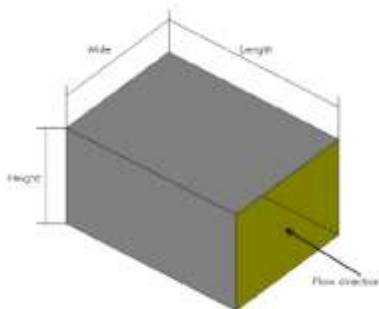
Construction merupakan bagian terpenting dalam mendesain *Wind tunne*[4], aliran yang dihasilkannya sangat berpengaruh pada kualitas aliran di *test chamber*. Dengan bentuknya seperti gambar 2 , bertujuan untuk meningkatkan kecepatan aliran dan mengurangi aliran turbulen sebelum masuk ke *test chamber*.



Gambar 2. *Wind tunnel Construction*[4]

2.4.2 Test Chamber

Test Chamber merupakan tempat melakukan uji *test* pada suatu permodelan yang telah dibuat[4]. Aliran udara yang masuk ke *test chamber* ini sangat membutuhkan tingkat turbulen yang sangat rendah, semakin rendah maka akan semakin bagus dan akurat untuk hasil simulasi dari test yang dilakukan. Ukuran untuk *test chamber* ini tergantung kepada permodelan yang akan disimulasikan di *wind tunnel*. *Design test chamber* dapat dilihat pada gambar 3.

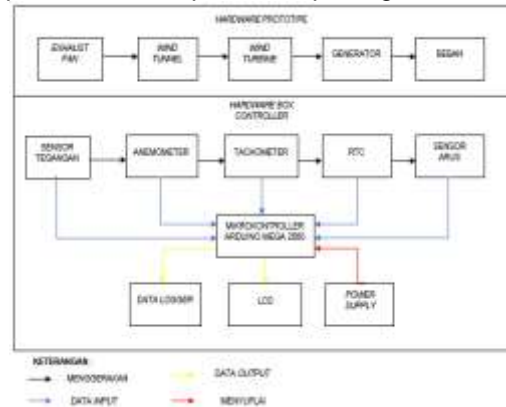


Gambar 3. *Test Chamber*[4]

3. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Blok Diagram Hardware

Blok diagram *hardware* pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.

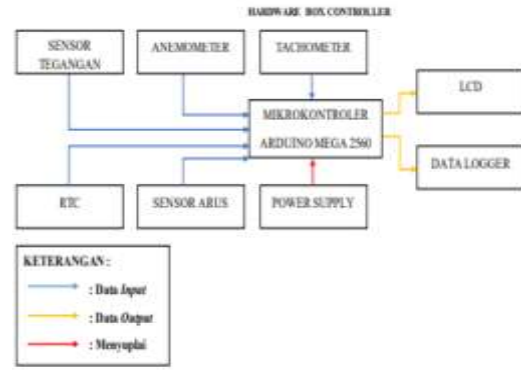


Gambar 4. Blok Diagram Hardware

Pada gambar 4 blok diagram hardware dibagi menjadi 2 bagian yaitu bagian *hardware prototype* dan *hardware box controller*. Bagian *hardware prototype* terdiri dari *exhaust fan* yang berukuran 57 cm x 57 cm dengan daya 350 watt. Udara yang dihasilkan *exhaust fan* nantinya akan melewati *wind tunnel* dengan dimensi 57 cm x 57 cm x 75 cm dengan kemiringan 42,6°. Udara yang melewati *wind tunnel* akan langsung mengenai bilah turbin yang langsung terhubung dengan generator DC.

Bagian *hardware box controller* terdiri dari mikrokontroler arduino MEGA 2560 dengan 54 *pin I/O*, 14 *pin PWM*, 16 *pin analog input*, 4 *pin UART*. Mikrokontroler berfungsi memproses data *input* dari sensor. Mikrokontroler arduino uno 2560 mendapat *input* dari sensor tegangan, sensor *optocoupler* yang digunakan pada *tachometer* dan anemometer, RTC, dan sensor arus. Sensor *optocoupler* mempunyai *output* digital 0 dan 1 yang terhubung dengan *pin* 2 dan *pin* 3 dari arduino mega 2560. Sensor arus yang digunakan berbentuk *clamp* yang memiliki keluaran pulsa sesuai dengan besaran arus yang mengalir. Sensor arus yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 2 buah yang terhubung dengan *pin* A1 untuk sensor arus 1 dan *pin* A2 untuk sensor arus 2, VCC, dan GND. Sensor tegangan memiliki keluaran berupa pulsa sesuai dengan

besaran tegangan yang diterima. Sensor tegangan terhubung dengan *pin* A3, VCC, dan GND. Mini *Data Logger* terdiri dari 2 bagian utama yaitu *micro SD card reader* dan *real time clock* (RTC). Mini *data logger* memiliki 8 *pin* yaitu SDA terhubung pada *pin* 20, SCL terhubung pada *pin* 21, SCK terhubung pada *pin* 52, MISO terhubung pada *pin* 50, MOSI terhubung pada *pin* 51, CS terhubung pada *pin* 53, VCC, serta GND. Pengolahan data *input* dari sensor diolah dalam mikrokontroler arduino 2560 yang nantinya ditampilkan dalam bentuk data yang disimpan pada *Micro SD* dan ditampilkan pada LCD. LCD yang digunakan berukuran 4x20 yang memiliki 4 kaki yaitu SDA terhubung pada *pin* 20, SCL terhubung pada *pin* 21, VCC, dan GND.



Gambar 5. Sistem Perancangan *Data Logger*

3.2 Metode Pengambilan data

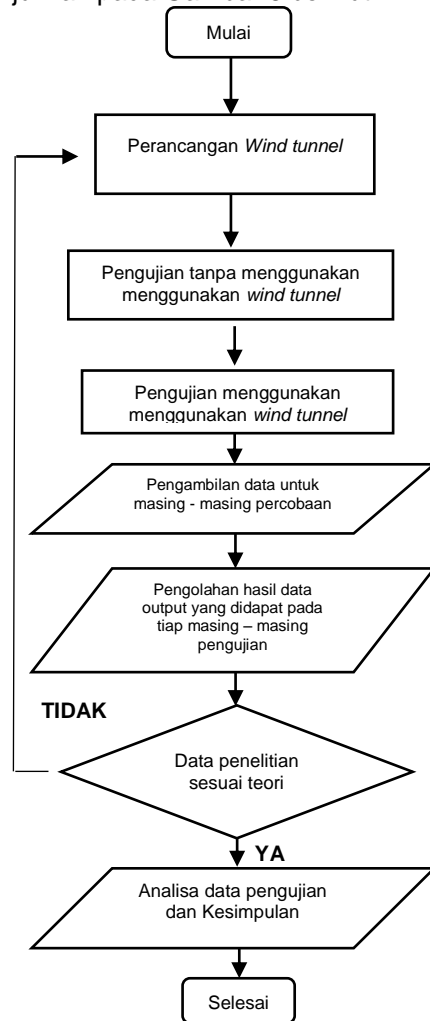
Metode pengambilan data penelitian ini dilakukan dengan pengukuran secara langsung pada saat pengujian alat serta melakukan studi literatur. Studi literatur yang dilakukan berupa mengumpulkan dan mempelajari data yang telah didapat kemudian menyesuaikan dengan teori dari skripsi terdahulu.

3.3 Sistem Perancangan *Data Logger*

Perancangan *Data Logger* dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 5. Perancangan *data logger* meliputi perancangan rangkaian *power supply*, perancangan sensor kecepatan angin, sensor kecepatan turbin, sensor arus AC, sensor tegangan AC, perancangan rangkaian *data logger*, perancangan rangkaian display, perancangan rangkaian mikrokontroler. Penelitian ini menggunakan variabel kecepatan angin, kecepatan turbin, tegangan generator, tegangan *exhaust fan*, arus generator, arus *exhaust fan*, daya generator, dan daya *exhaust fan*.

3.3 Diagram Alur Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dilakukan dengan beberapa tahapan yang ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Diagram Alur Penelitian

Gambar 6 merupakan diagram alur penelitian yang dilakukan. Berikut penjelasan dari diagram alur penelitian.

1. Langkah pertama perancangan *design wind tunnel* dengan menggunakan *software solidworks* untuk mendapatkan kecepatan angin yang optimal.
2. Langkah kedua pengujian tanpa menggunakan *wind tunnel* dengan jarak 75 cm dari turbin. Pengujian ini dilakukan pada tempat terbuka yang bertujuan untuk mendapatkan *output* yang maksimal ketika tanpa penggunaan *wind tunnel*.
3. Langkah ketiga pengujian dengan menggunakan *wind tunnel*. Pengujian ini menggunakan *wind tunnel* berukuran 57 cm x 57 cm dengan tinggi 75 cm yang arah keluarnya angin diarahkan langsung ke bilah turbin.
4. Langkah keempat pengambilan data yang sudah tersimpan pada *data logger*.
5. Langkah Kelima pengolahan hasil data yang didapat setelah pengujian dalam bentuk diagram
6. Langkah keenam menyamakan hasil data yang didapat dengan teori yang ada. Penggunaan *wind tunnel* menurut teori dapat meningkatkan *output* dikarenakan udara yang dikeluarkan *exhaust fan* langsung mengenai bilah turbin sehingga tidak ada udara yang terbuang.
7. Langkah Ketujuh membuat kesimpulan dan analisa.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.1 Hasil Perancangan Tempat Pengujian

Pada perancangan tempat pengujian menggunakan besi L dengan ketebalan 6 mm. Perancangan tempat pengujian ini akan dibagi menjadi beberapa bagian diantaranya bagian dudukan turbin dan bagian tempat pengujian *exhaust fan*. Gambar 7 adalah hasil perancangan tempat pengujian yang telah dibuat.

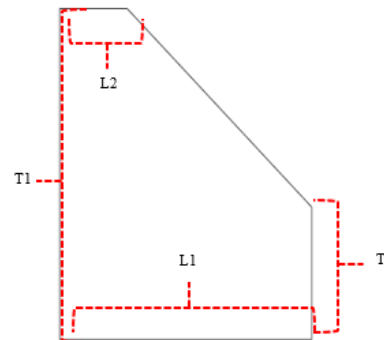


Gambar 7. Hasil Perancangan tempat pengujian

Hasil perancangan tempat pengujian dibagi menjadi 2 bagian yaitu bagian dudukan turbin dan bagian pengujian *exhaust fan*. Bagian pengujian *exhaust fan* memiliki dimensi panjang 2 meter, lebar 57 cm, dan tinggi 1,5 meter. Bagian dudukan turbin memiliki dimensi panjang 67 cm dan tinggi 145 cm.

4.1.2 Hasil Perancangan Wind Tunnel

Wind tunnel merupakan terowongan untuk udara dari *Exhaust Fan* yang langsung ditujukan ke Turbin. Penelitian ini membuat *Wind tunnel* menggunakan kayu lapis atau triplek yang halus agar mudah dibentuk. Perancangan *wind tunnel* menggunakan *software SolidWork*. Gambar 8 merupakan hasil perancangan dari *wind tunnel*.



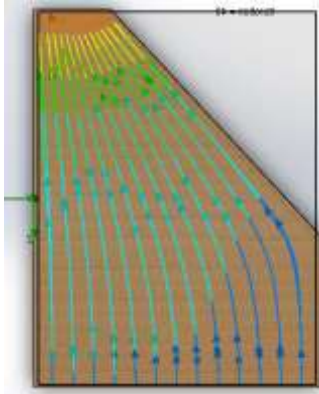
Gambar 8. Perancangan Wind Tunnel

Dimensi dari perancangan *wind tunnel* ini dimana T1 berukuran 75 cm L2 berukuran 15,24 cm yang berfungsi sebagai keluarnya angin L1 57x57 cm yang berfungsi sebagai masuknya angin dari exhaust fan sedangkan T2 berubah – ubah sesuai dengan kecepatan optimal yang didapat pada simulasi. Berikut ukuran *wind tunnel* yang digunakan pada simulasi program *solidwork* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Tabel Uji Perancangan Wind Tunnel

UJI	T1 (CM)	T2 (CM)	L1 (CM)	L2 (CM)	SUDUT	LAJU ANGIN (M/S)	P (ATM)
1	75	10	57	15,24	147,28°	10,8715	101725
2	75	20	57	15,24	142,79°	10,9214	101732
3	75	30	57	15,24	137,14°	11,0035	101743
4	75	40	57	15,24	129,97°	10,9145	101727
5	75	50	57	15,24	120,91°	10,8623	101726

T1 berukuran 75 cm sesuai dengan jarak antara turbin ke *exhaust fan*. L1 berukuran 57 cm sesuai dengan ukuran *exhaust fan*. L2 berukuran 15,24 cm sesuai dengan ukuran bilah pada turbin. T2 ukurannya berubah – ubah karena mencari kecepatan angin paling optimal sesuai dengan simulasi. Gambar aliran udara di dalam *wind tunnel* ditunjukkan pada gambar 9.



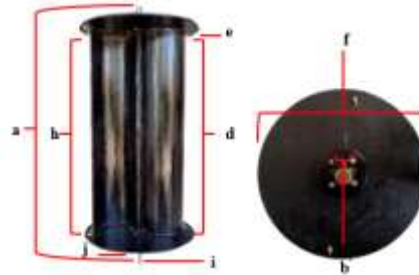
Gambar 9. Simulasi Arah Aliran Angin dalam *Wind Tunnel*

4.1.3 Hasil Perancangan Turbin

Turbin vertikal berfungsi sebagai penggerak untuk generator yang akan mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Penelitian ini menggunakan turbin vertikal 2 sudu, yang merupakan jenis turbin savonius dengan perbedaan sudut sebesar 90°. Berikut spesifikasi dari turbin yang digunakan.

- a. Panjang Poros : 100 cm
- b. Diameter Lubang Poros : 10 mm
- c. Material Poros besi drat : 10 mm
- d. Jarak Antar *frame* : 66 cm
- e. Tebal *frame* : 5 mm
- f. Diameter *frame* : 32 cm
- g. Material *frame* : Triplek
- h. Panjang Sudu : 66 cm
- i. Tebal Sudu : 3 mm
- j. Diameter Sudu : 13 cm
- k. Material Sudu : Pipa Talang

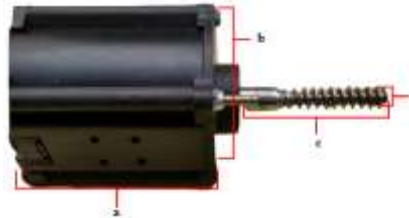
Design turbin yang digunakan dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Turbin 2 Sudu

4.1.4 Spesifikasi Generator

Generator yang digunakan pada perancangan prototipe PLTB menggunakan generator DC (*Direct Current*). Spesifikasi dari generator yang digunakan adalah Generator Magnet Permanen dengan ukuran seperti pada data di bawah. Generator yang digunakan ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Generator DC

Spesifikasi dari generator yang digunakan dalam perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan memanfaatkan udara buang *Exhaust Fan* adalah sebagai berikut.

- a. Panjang Generator : 10 cm
- b. Lebar Generator : 5 cm
- c. Panjang Ulir Generator : 9 cm
- d. Diameter Ulir Generator : 0,8 cm
- e. Tegangan Generator : 12 – 18 volt DC
- f. Daya *Maximum* : 30 Watt
- g. RPM Generator : 800 RPM
- h. Aplikasi Penggunaan : Kincir Angin dan Kincir Air

4.1.5 Spesifikasi *Exhaust Fan*

Penelitian ini menggunakan *exhaust fan* sebagai penghasil udara yang digunakan untuk memutar turbin. Adapun gambar *exhaust fan* yang digunakan ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Exhaust Fan

Berikut Spesifikasi exhaust fan yang digunakan.

- a. Tegangan : 220 V
- b. Daya : 350 watt
- c. Diameter : 50 cm
- d. Jumlah Blade : 4 buah
- e. Material : Logam

4.2 Pengujian Menggunakan Turbin 2 Sudu

4.2.1 Pengujian Tanpa Menggunakan Wind Tunnel dengan Beban 10 Ω

Pengujian menggunakan turbin 2 sudu tanpa menggunakan wind tunnel di mana jarak antara turbin dan exhaust adalah 75 cm dari tengah turbin. Skema pengujian ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Skema Pengujian Turbin 2 Sudu Tanpa Wind Tunnel dengan Beban 10 Ω

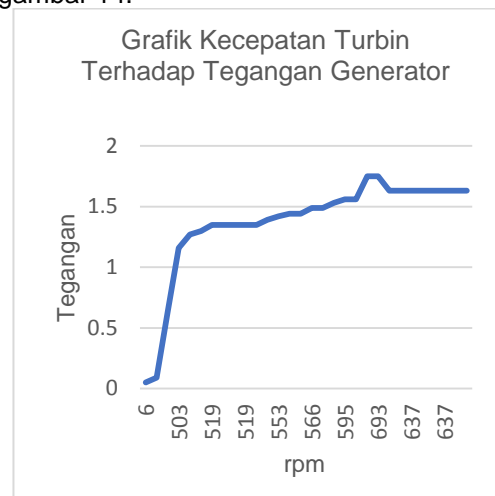
Dari hasil pengukuran yang dilakukan maka didapat data yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Turbin 2 Sudu Tanpa Wind Tunnel dengan Beban 10 Ω

Waktu (s)	V. Gen (V)	I. Gen (A)	P. Gen (W)	rpm	I. exh (A)	V. exh (V)
1	6	0,005	0,00025	0,05	1,49	221,32
2	8	0,009	0,00081	0,09	0,8	220,76
3	50	0,064	0,04096	0,64	0,8	221,44
4	503	0,116	0,13456	1,16	0,8	221,03
5	505	0,127	0,16129	1,27	0,8	221,54
6	513	0,13	0,169	1,3	0,9	221,81
7	519	0,135	0,18225	1,35	0,8	222,21
8	519	0,135	0,18225	1,35	0,8	222,24

9	519	0,135	0,18225	1,35	0,8	222,49
10	519	0,135	0,18225	1,35	0,8	221,79
11	519	0,135	0,18225	1,35	0,8	222,69
12	542	0,139	0,19321	1,39	0,8	221,1
13	553	0,142	0,20164	1,42	0,95	221,34
14	557	0,144	0,20736	1,44	0,95	222,52
15	557	0,144	0,20736	1,44	0,95	221,44
16	566	0,149	0,22201	1,49	0,95	221,5
17	566	0,149	0,22201	1,49	0,8	223,02
18	594	0,153	0,23409	1,53	0,95	222,15
19	595	0,156	0,24336	1,56	0,95	221,54
20	595	0,156	0,24336	1,56	0,8	220,27
21	693	0,175	0,30625	1,75	0,8	221,94
22	693	0,175	0,30625	1,75	0,8	221,94
23	637	0,163	0,26569	1,63	0,8	222,49
24	637	0,165	0,27225	1,63	0,89	222,38
25	637	0,172	0,29584	1,63	0,79	223,03
26	637	0,163	0,26569	1,63	0,8	220,27
27	637	0,163	0,26569	1,63	0,85	221,94
28	637	0,163	0,26569	1,63	0,92	223,02
29	637	0,163	0,26569	1,63	0,81	221,5
30	637	0,163	0,26569	1,63	0,8	223,02

Grafik kecepatan turbin terhadap tegangan generator yang ditunjukkan pada gambar 14.



Gambar 14. Grafik Kecepatan Turbin Terhadap Tegangan

Pada pengujian turbin 2 sudu dengan wind tunnel dengan beban 10 Ω mendapatkan tegangan sebesar 1.75 V, daya yang dihasilkan sebesar 0.30625 W dan putaran stabil sekitar 693 rpm. Kecepatan yang dihasilkan generator berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan pada generator, semakin cepat putaran generator maka output yang dihasilkan semakin besar.

4.2.2 Pengujian Menggunakan Wind Tunnel dengan Beban 10 Ω

Pengujian menggunakan turbin 2 sudu dengan menggunakan wind tunnel yang diarahkan langsung ke sudu turbin. Skema pengujian dapat ditunjukkan pada gambar 15 berikut.



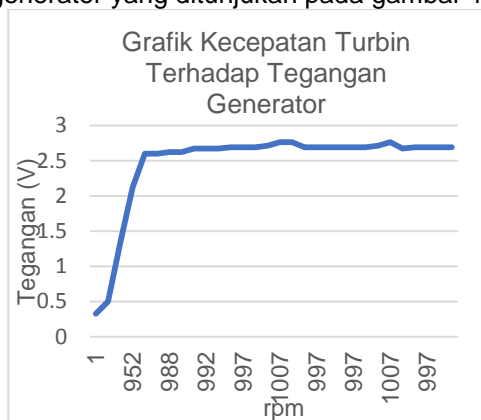
Gambar 15. Gambaran Pengujian Turbin Sudu 2 dengan Wind tunnel

Dari hasil pengukuran yang dilakukan maka didapat data pengujian yang dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Turbin 2 Sudu Menggunakan Wind Tunnel dengan Beban 10 Ω

Waktu (s)	V. Gen (V)	I. Gen (A)	P. gen (W)	rpm	I. exh (A)	V. exh (v)
1	0,33	0,033	0,01089	1	1,32	221,62
2	0,5	0,05	0,025	40	0,8	221,1
3	1,35	0,135	0,18225	90	0,8	220,38
4	2,12	0,212	0,44944	952	0,8	220,23
5	2,6	0,26	0,676	972	0,9	221,14
6	2,6	0,26	0,676	972	0,8	220,55
7	2,62	0,262	0,68644	988	0,8	222,4
8	2,62	0,262	0,68644	988	0,8	221,68
9	2,67	0,267	0,71289	992	0,8	219,89
10	2,67	0,267	0,71289	992	0,8	221,55
11	2,67	0,267	0,71289	992	0,8	221,55
12	2,69	0,269	0,72361	997	0,95	220,06
13	2,69	0,269	0,72361	997	0,95	219,46
14	2,69	0,269	0,72361	997	0,95	222,87
15	2,71	0,271	0,73441	1004	0,95	221,71
16	2,76	0,274	0,75076	1007	0,8	220,45
17	2,76	0,276	0,76176	1007	0,95	221,01
18	2,69	0,276	0,76176	997	0,95	220,85
19	2,69	0,276	0,76176	997	0,8	222,18
20	2,69	0,276	0,76176	997	0,8	221,97
21	2,69	0,269	0,72361	997	0,95	220,06
22	2,69	0,269	0,72361	997	0,95	219,46
23	2,69	0,269	0,72361	997	0,95	222,87
24	2,71	0,271	0,73441	1004	0,95	221,71
25	2,76	0,274	0,75076	1007	0,8	220,45
26	2,67	0,267	0,71289	992	0,8	221,55
27	2,69	0,269	0,72361	997	0,95	220,06
28	2,69	0,269	0,72361	997	0,95	219,46
29	2,69	0,269	0,72361	997	0,95	222,87
30	2,69	0,269	0,72361	997	0,95	222,87

Dari hasil data yang didapat maka grafik kecepatan turbin terhadap tegangan generator yang ditunjukkan pada gambar 16.



Gambar 16. Grafik Kecepatan Turbin Terhadap Tegangan.

Pengujian turbin 2 sudu dengan wind tunnel dengan beban 10 Ω mendapatkan tegangan sebesar 2.76 V, daya yang dihasilkan sebesar 0.75076 W dan putaran stabil sekitar 1007 rpm. Kecepatan yang dihasilkan generator berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan pada generator, semakin cepat putaran generator maka output yang dihasilkan semakin besar

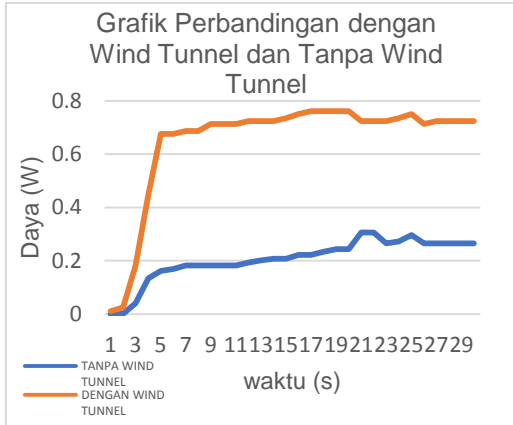
4.3 Perbandingan Penggunaan Wind Tunnel dan Tanpa Menggunakan Wind Tunnel

Perbandingan penggunaan wind tunnel dan tanpa penggunaan wind tunnel dapat dilihat dari output setiap pengujian. berikut data output setiap pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Output dengan Menggunakan Wind Tunnel dan Tanpa Wind Tunnel

Waktu (s)	TANPA WIND TUNNEL (W)	DENGAN WIND TUNNEL (W)
1	0,00025	0,01089
2	0,00081	0,025
3	0,04096	0,18225
4	0,13456	0,44944
5	0,16129	0,676
6	0,169	0,676
7	0,18225	0,68644
8	0,18225	0,68644
9	0,18225	0,71289
10	0,18225	0,71289
11	0,18225	0,71289
12	0,19321	0,72361
13	0,20164	0,72361
14	0,20736	0,72361
15	0,20736	0,73441
16	0,22201	0,75076
17	0,22201	0,76176
18	0,23409	0,76176
19	0,24336	0,76176
20	0,24336	0,76176
21	0,30625	0,72361
22	0,30625	0,72361
23	0,26569	0,72361
24	0,27225	0,73441
25	0,29584	0,75076
26	0,26569	0,71289
27	0,26569	0,72361
28	0,26569	0,72361
29	0,26569	0,72361
30	0,26569	0,72361

Tabel 4 merupakan output yang didapat pada penelitian dengan pemakaian wind tunnel dan tanpa pemakaian wind tunnel. Grafik perbandingan dengan wind tunnel dan tanpa wind tunnel dapat ditunjukkan pada gambar 17.



Gambar 17. Grafik Perbandingan dengan Wind Tunnel dan Tanpa Wind Tunnel

Penelitian tanpa penggunaan *wind tunnel* mendapatkan *output* yang lebih kecil karena udara yang dikeluarkan pada *exhaust fan* tidak terfokuskan ke bilah turbin sehingga banyak udara yang tidak bisa dimanfaatkan kembali.

4.4 Perhitungan Efisiensi

Perhitungan untuk mencari efisiensi digunakan rumus sebagai berikut[5].

$$CP = \frac{P_{turbin}}{P_{angin}} \quad (2)$$

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

$$A = D \times H \quad (3)$$

$$A = 66 \text{ cm} \times 32 \text{ cm}$$

$$A = 0,2112 \text{ m}^2$$

$$CP = \frac{P_{turbin}}{\frac{1}{2} \times 1,225 \text{ kg/m}^3 \times 0,2112 \times 6^3}$$

$$CP = \frac{P_{turbin}}{27,94 \text{ W}}$$

$$0,2 = \frac{P_{turbin}}{27,94 \text{ W}}$$

$$P_{turbin} = 27,94 \text{ W} \times 0,2$$

$$P_{turbin} = 5,58 \text{ W}$$

Efisiensi prototype pada turbin 2 sudu[5]:

$$efisiensi \ prototype = \frac{P_{generator}}{P_{turbin}} \quad (4)$$

$$efisiensi \ prototype = \frac{0,30625 \text{ W}}{5,58 \text{ W}} \times 100\%$$

$$efisiensi \ prototype = 5,4 \%$$

Efisiensi prototype pada turbin 2 sudu dengan *wind tunnel*

$$efisiensi \ prototype = \frac{0,76176 \text{ W}}{5,58 \text{ W}} \times 100\%$$

$$efisiensi \ prototype = 13,65 \%$$

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Energi buang dari *exhaust fan* yang terdapat pada industri besar dapat

dimanfaatkan kembali untuk membangkitkan energi listrik. *Output* yang dihasilkan dengan penggunaan *wind tunnel* lebih besar dibanding dengan tanpa penggunaan *wind tunnel*

2. Pengujian tanpa penggunaan *wind tunnel* mendapatkan efisiensi sebesar 5,4 %, sedangkan dengan penambahan *wind tunnel* menjadi 13,65% ini membuktikan pemasangan *wind tunnel* sangat efektif selain untuk memfokuskan angin yang keluar dari *exhaust fan wind tunnel* juga dapat mengurangi pengaruh angin luar yang dapat mengganggu arah putar turbin

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Arieyasa, Dhanan, Cok. G. Indra Partha, I.W. Sukerayasa. 2020. Analisa Perbandingan Unjuk Kerja Wind Turbine-500 dan GH-0,5K Di Pilot Project Smart Grid Teknik Elektro Universitas Udayana. Universitas Udayana, Jurnal Spektrum Vol 7, No 1 Maret 2020.
- [2]. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2018. Outlook Energi Indonesia 2018 : Energi Berkelanjutan untuk Transportasi Darat. Jakarta : Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE).
- [3]. Md. Abir Hasan. 2013. Producing Electrical Energy by Using Wastage Wind Energy From Exhaust Fans of Industries. University of Michigan
- [4]. Kumar Nallapaneni Manoj. 2015. Design and Wind Tunnel Testing of Funnel Based Wind Energy Harvesting System. Departement of electronics engineering, Karunya University
- [5]. Latif Melda. 2013. Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah. Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang.