

UJI EXPERIMENTAL MODEL TURBIN HYBRID SAVONIUS BERTINGKAT DAN DARRIEUS TIPE H ROTOR

Chandra Buana, Muh. Yusuf Yunus¹⁾,
Muh. Rinaldi Pratama dan Muh. Saqib Nurfaizi²⁾

Abstrak: Angin merupakan salah satu energi yang sedang dikembangkan saat ini. 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 3 m/s hingga 5 m/s. Turbin yang cocok digunakan dengan kisaran kecepatan angin tersebut adalah turbin hybrid. Pada penelitian sebelumnya, telah didapatkan bahwa turbin 2S4D dan 3S3D memiliki kinerja terbaik. Tetapi pada kedua turbin tersebut masih terdapat beberapa kekurangan. Oleh karena itu, untuk memperbaiki kekurangan sebelumnya maka dilakukan penelitian mengenai turbin 2S4D dan 3S3D. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dan pengembangan, dimana penelitian ini mengembangkan turbin angin hybrid yang telah dikembangkan sebelumnya dengan merancang bangun turbin savonius bertingkat dengan perbedaan sudut serang setiap tingkat sebesar 90° , sedangkan untuk turbin darrieus menggunakan *Airfoil* NACA 2412. Pengujian turbin dilakukan skala lab, dimana sumber angin berasal dari *wind tunnel*. Adapun data yang dihasilkan dalam pengujian yaitu data mekanik dan data elektrik. Setelah melakukan penelitian, dapat disimpulkan bahwa kedua turbin hybrid yang dibuat memiliki kinerja terbaik dibandingkan dengan turbin hybrid yang dibuat sebelumnya, di mana untuk turbin 2S4D memiliki efisiensi rata-rata 37,6% dan turbin 3S3D memiliki efisiensi rata-rata 29,6%. (*Keterangan: S = Savonius & D = Darrieus*)

Kata Kunci: Turbin angin hybrid, Savonius, Darrieus, *Airfoil* NACA 2412.

I. PENDAHULUAN

Pengembangan energi terbarukan dapat dijadikan unggulan untuk mendampingi atau mensubstitusi penggunaan bahan bakar minyak. Pengkajian energi ini mutlak dilakukan agar tidak terjadi krisis energi. Melalui kajian mesin konversi energi maka energi terbarukan di Indonesia dapat dimanfaatkan secara optimal untuk kebutuhan energi di dalam menunjang keberlangsungan pembangunan dan kebutuhan manusia di bidang energi. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang saat ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan adalah energi angin (Yusuf dan Chorul, 2015).

Energi ini merupakan energi yang bersih dan dalam proses produksinya tidak mencemari lingkungan. 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 3 m/s hingga 5 m/s sehingga sulit untuk menghasilkan energi listrik dalam skala besar. Meskipun demikian, potensi angin di Indonesia hampir sepanjang tahun, sehingga memungkinkan untuk dikembangkan sistem pembangkit listrik skala kecil (Marizka, 2010).

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

² Alumni Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

Berdasarkan hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) di Teluk Laikang Kabupaten Takalar Provinsi Sulawesi Selatan kecepatan angin rata-rata berkisar 2,5 – 4,0 m/s (LAPAN, 2005). Berdasarkan hasil pemetaan tersebut turbin angin yang paling cocok diterapkan di daerah Sulawesi Selatan khususnya di Teluk Laikang adalah turbin angin dengan sumbu vertikal. Karena turbin angin sumbu vertikal merupakan salah satu turbin angin yang cocok diaplikasikan untuk daerah dengan kecepatan angin rendah. Secara umum kinerja turbin dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah bentuk aerodinamis blade turbin. Rotor *blade* turbin angin secara aerodinamika harus menunjukkan efisiensi yang optimum untuk memaksimalkan daya mekanis yang dapat dikonversi dari energi kinetik aliran udara bebas yang melewati rotor menjadi energi mekanik (Ahlund Karin, 2004).

Salah satu bentuk turbin angin yang relatif mudah dibuat adalah turbin angin dengan sumbu vertikal tipe savonius. Turbin angin jenis ini berputar dengan memanfaatkan kecepatan angin dari berbagai arah dan mudah dikonversi untuk membangkitkan energi listrik. Menurut penelitian Saha *et al.* (2008), konfigurasi rotor paling optimum adalah turbin angin savonius yang terdiri dari dua tingkatan dengan beda sudut 90° dan satu tingkat terdiri dari dua sudu, dimana torsi yang dihasilkan dari konfigurasi ini memiliki nilai yang konstan. Gupta dkk. (2006) melakukan penelitian yang membandingkan dua tipe yaitu tipe Savonius (U) dengan tipe gabungan Savonius Darrieus pada kondisi *overlap* dan tanpa *overlap*. Dari hasil-hasil penelitian, mereka menyimpulkan bahwa gabungan Savonius-Darrieus mempunyai unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan dengan tipe savonius saja.

Tasmianto (2016) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa variasi jumlah sudu pada setiap rotor di turbin angin tipe hybrid mempengaruhi kinerja dari turbin angin tersebut. Tasmianto dan Irzan membuat 9 jenis variasi turbin hybrid savonius dan darrieus H-rotor di mana dari 9 jenis variasi turbin tersebut, turbin dengan variasi 2 savonius 4 darrieus H-rotor dan turbin dengan variasi 3 savonius 3 darrieus H-rotor memiliki kinerja terbaik.

Berdasarkan penelitian terdahulu, maka akan dilakukan pengujian turbin hybrid dengan variasi 2 savonius 4 darrieus H-rotor dan 3 savonius 3 darrieus H-rotor. Sudu savonius dibuat bertingkat dengan perbedaan sudu serang setiap tingkat sebesar 90° dengan judul “Uji Experimental Model Turbin Hybrid Savonius Bertingkat dan Darrieus Tipe H-Rotor”.

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Pemanasan oleh matahari, maka udara memuai. Tekanan udara yang telah memuai massa jenisnya menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun. Udara disekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah.

Udara yang memiliki massa m dan kecepatan v akan menghasilkan energi kinetik sebesar:

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

Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan v dan melewati daerah seluas A adalah:

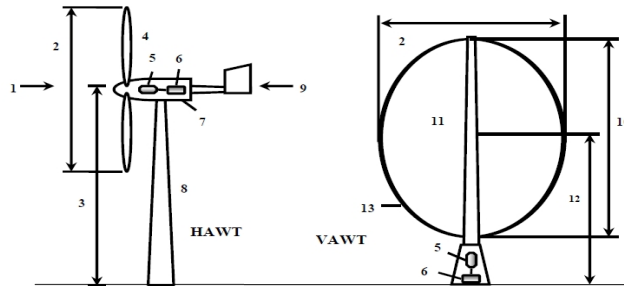
$$V = vA \dots\dots\dots (2)$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan ρ , yaitu:

$$m = \rho V = \rho vA \dots\dots\dots (3)$$

Dengan P_w adalah daya angin (watt), ρ adalah densitas udara ($1,225 \text{ kg/m}^3$), A adalah luas penampang turbin (m^2), v adalah kecepatan udara (m/s)

Sejak permulaan teknologi energi angin, mesin dengan berbagai jenis tipe dan bentuk telah didesain dan dikembangkan hampir di seluruh dunia. Sebagian dari desain inovatif ini tidak diterima secara komersial. Meskipun beberapa cara mengglongkan turbin angin, maka pada saat ini hanya digolongkan berdasarkan sumbu rotasi turbin angin tersebut yaitu turbin angin poros horizontal (HAWT) dan turbin poros vertikal (VAWT).



Gambar 1. turbin angin (Mittal, 2001)

Turbin angin Darrieus pada umumnya dikenal sebagai turbin *eggbeater*. Turbin angin Darrieus pertama kali ditemukan oleh Georges Darrieus pada tahun 1931. Turbin angin Darrieus merupakan turbin angin yang menggunakan prinsip aerodinamik dengan memanfaatkan gaya *lift* pada penampang sudu rotornya dalam mengekstrak energi angin.

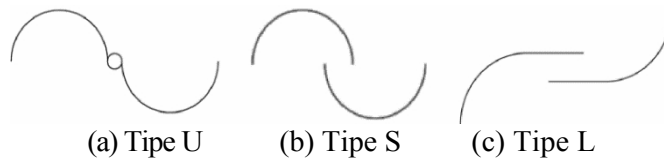
Turbin Darrieus memiliki torsi rotor yang rendah tetapi putarannya lebih tinggi dibanding dengan turbin angin Savonius sehingga lebih diutamakan untuk menghasilkan energi listrik. Namun turbin ini membutuhkan energi awal untuk mulai berputar. Rotor turbin angin Darrieus pada umumnya memiliki variasi sudu yaitu dua atau tiga sudu. Modifikasi rotor turbin angin Darrieus disebut dengan turbin angin H.



Gambar 2. Turbin angin darrieus H-Rotor

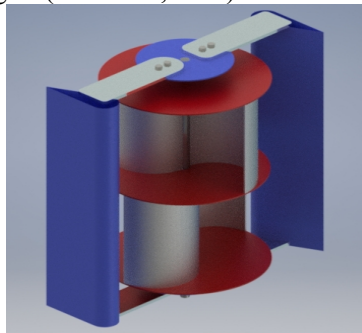
Turbin angin Savonius ditemukan pertama kalinya di Finlandia oleh sarjana Finlandia bernama Sigurd J. Savonius pada tahun 1922 dan berbentuk S apabila dilihat dari atas. Turbin jenis ini secara umumnya bergerak lebih perlahan dibandingkan jenis turbin angin sumbu horizontal, tetapi menghasilkan torsi yang besar. Konstruksi turbin sangat sederhana, tersusun dari dua buah sudu setengah silinder.

Pada perkembangannya turbin Savonius ini banyak mengalami perubahan bentuk rotor, tipe turbin angin Savonius di bawah ini, terlihat dari bagian atas yaitu:



Gambar 3. Tipe Turbin Savonius

Pada perkembangannya turbin Savonius ini banyak mengalami perubahan bentuk sudu contohnya dengan melakukan variasi jumlah sudu, Turbin angin Savonius bertingkat ini cukup sederhana dan praktis tidak terpengaruh oleh arah angin, turbin angin savonius mengkonversikan energi angin menjadi energi mekanis dalam bentuk gaya dorong (*drag force*). Sebagian sudu mengambil energi angin dan sebagian sudu lagi melawan angin. Sudu yang mengambil energi angin disebut *downwind* sedangkan sudu yang melawan angin disebut *upwind*. energi angin yang memutar turbin angin diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibagian bawah turbin angin. (Blakwell,1977).



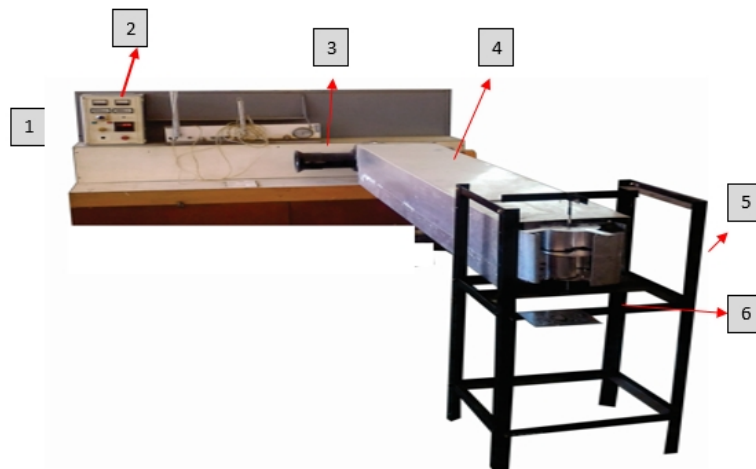
Gambar 4. Turbin hybrid Savonius Bertingkat dengan darrieus H rotor

NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) *airfoil* adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi *airfoil*. Geometri *airfoil* memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter penting berupa CL, dan kemudian akan terkait dengan *lift* (gaya angkat yang dihasilkan) (Mulyadi, 2010).

Neraca pegas mempunyai dua baris skala, yaitu skala N (newton) dan g (gram). Untuk menimbang beban (benda),atur terlebih dahulu skala 0 (nol) dengan cara memutar sekrup pengatur skala. Setelah itu gantungkan benda pada pengait neraca. Selanjutnya, baca hasil pengukuran. Kelebihan menimbang beban dengan neraca pegas yaitu dalam sekali menimbang benda dapat diketahui massa dan berat benda sekaligus.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Instalasi Pengujian dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Instalasi Pengujian

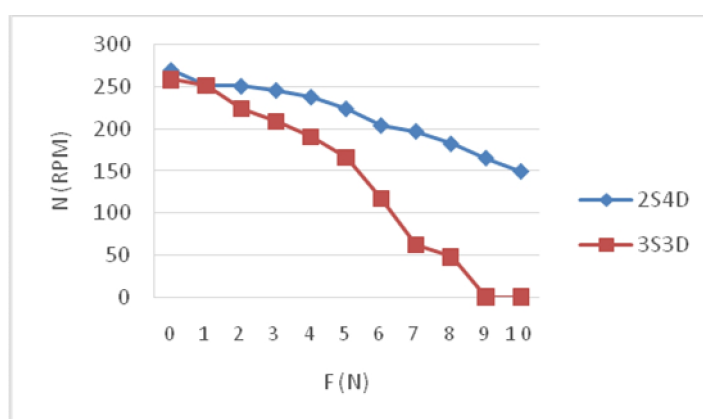
- Keterangan:
- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1. <i>Power Switch</i> | 2. Panel Kontrol |
| 3. <i>Fan Test</i> | 4. <i>Wind Tunnel</i> |
| 5. <i>Stand Turbin</i> | 6. Turbin Hybrid |

Pengumpulan data terdiri dari 2 bagian data, yakni data mekanik turbin dan data elektrik. Penempatan anemometer berada pada posisi turbin yang akan diuji. Pada saat pengukuran kecepatan angin, turbin tidak dipasang. Hal ini dilakukan agar kecepatan angin yang diukur anemometer sama dengan kecepatan angin yang menumbuk turbin. Selanjutnya, data pertama yang diuji adalah data mekanik. Pada data mekanik turbin, digunakan pegas newton sebagai variasi untuk melihat penurunan putaran turbin.

Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan dengan lima variasi kecepatan angin, yaitu 2,5 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, 4,5 m/s, 5 m/s, dan 5,5 m/s. Pertama kita mulai dari kecepatan angin rendah yaitu 2,5 m/s. Kemudian setiap turbin diuji dengan variasi pegas mulai 0 Newton sampai dengan 10 Newton. Setiap gaya (pembebanan), diukur putaran poros turbin dengan menggunakan tachometer. Setelah data mekanik selesai, kemudian melakukan pengujian pada data elektrik, dimana poros turbin angin hybrid sudah terhubung dengan generator dc. Pengambilan data dimulai dari kecepatan angin 2,5 m/s, 3 m/s, 3,5 m/s, 4 m/s, 4,5 m/s, 5 m/s, dan 5,5 m/s. Selanjutnya melakukan pengambilan data dengan memvariasikan setiap beban, kemudian mencatat arus dan tegangan dengan menggunakan alat ukur amperemeter dan voltmeter.

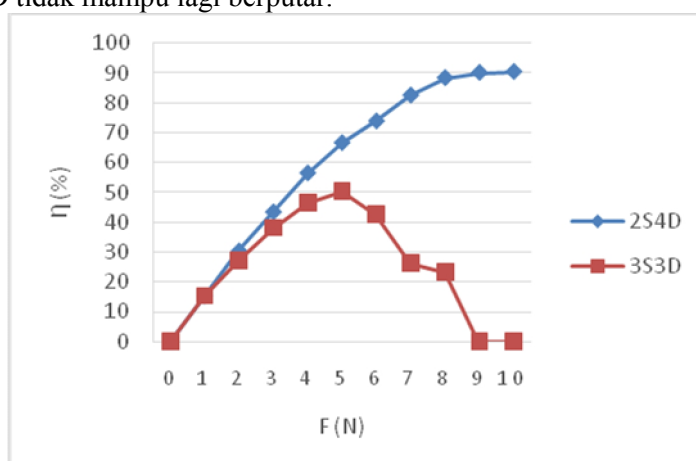
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dan setelah menganalisa data hasil pengujian, terlihat bahwa jumlah sudu turbin savonius dan jumlah sudu turbin darrieus sangat mempengaruhi kinerja turbin angin hybrid. Terlihat pada grafik dibawah ini, memperlihatkan bahwa variasi jumlah sudu turbin savonius dan turbin darrieus mempengaruhi kinerja turbin angin hybrid.



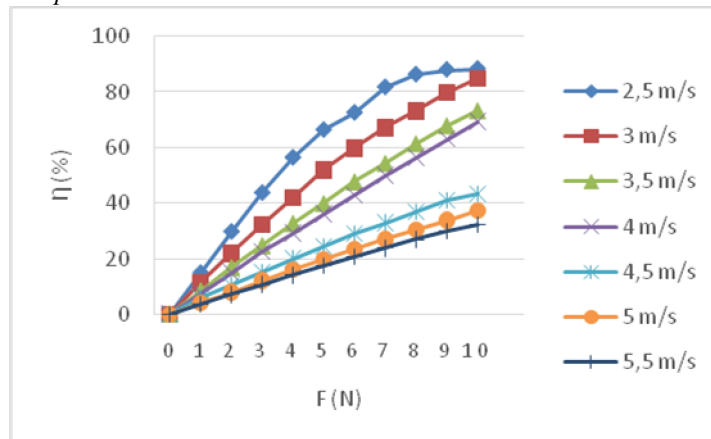
Gambar 6. Hubungan antara gaya dengan putaran turbin angin hybrid dengan kecepatan 2,5 m/s.

Pada gambar 6, terlihat bahwa pada kecepatan angin 2,5 m/s pada saat tanpa pembebanan, turbin dengan variasi 2S4D memiliki putaran tertinggi 270 rpm. Sedangkan turbin dengan variasi 3S3D memiliki putaran tertinggi 259 rpm. Setelah dilakukan pembebanan gaya, putaran turbin menurun dan terlihat turbin dengan variasi 2S4D paling mampu mempertahankan putarannya yaitu dengan nilai 270 rpm sampai pembebanan gaya 10 N. Pada saat pembebanan gaya 9 N, turbin 3S3D tidak mampu lagi berputar.



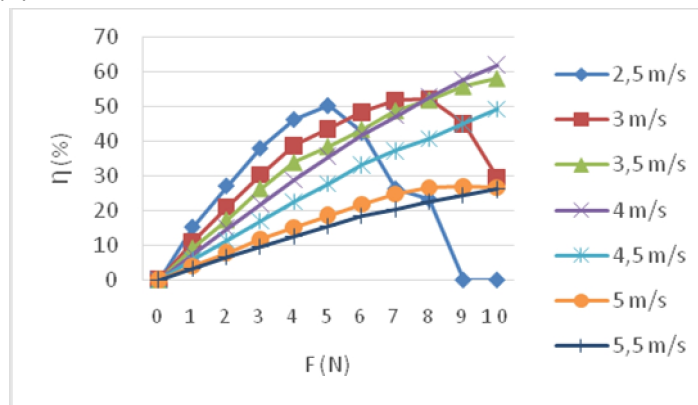
Gambar 7. Hubungan antara gaya dengan efisiensi untuk setiap turbin angin hybrid dengan kecepatan angin 2,5 m/s.

Pada gambar 7, terlihat hubungan antara pembebanan gaya dengan efisiensi terhadap turbin dengan variasi 3S3D pada kecepatan angin 2,5 m/s. Terlihat bahwa efisiensi dari turbin dengan variasi 3S3D berbentuk parabola, yang artinya pada saat awal dimulai dari nol dan akan naik sampai ke titik maksimum, kemudian menurun sampai nol kembali. Bentuk parabola juga terjadi pada kecepatan angin 3 m/s tetapi tidak menurun sampai titik nol. Dari kedua turbin angin hybrid, turbin dengan variasi 2S4D memiliki efisiensi yang paling tinggi dengan nilai efisiensi maksimum 88,40 %. Yang berarti kinerja turbin ini paling bagus pada kecepatan angin 2,5 m/s dengan pembebanan gaya 10 N. Sedangkan turbin dengan variasi 3S3D memiliki efisiensi maksimum 49,24 % pada pembebanan gaya 5 N.



Gambar 8. Hubungan antara gaya dengan efisiensi turbin angin hybrid 2 savonius – 4 darrieus terhadap variasi kecepatan angin.

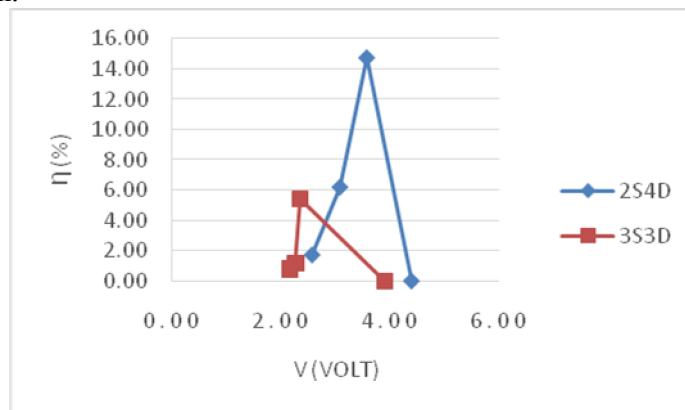
Pada gambar 8, hubungan antara pembebanan gaya dengan efisiensi turbin 2S4D terhadap variasi kecepatan angin, terlihat jelas bahwa efisiensi tertinggi pada saat kecepatan angin 2,5 m/s. Secara berurut dari efisiensi tertinggi ke terendah adalah kecepatan angin 2,5 m/s dengan efisiensi 88,40 %, kecepatan angin 3 m/s dengan efisiensi 85,06 %, kecepatan angin 3,5 m/s dengan efisiensi 73,30 %, dan kecepatan angin 4 m/s dengan efisiensi 69,38 %, kecepatan angin 4,5 m/s dengan efisiensi 43,24 %, kecepatan angin 5 m/s dengan efisiensi 37,50 %, kecepatan angin 5,5 m/s dengan efisiensi 32,21 %. Kinerja dari turbin dengan variasi 2S4D bisa saja menurun dari titik puncak kembali ke titik nol apabila variasi beban gaya ditambahkan.



Gambar 9. Hubungan antara gaya dengan efisiensi turbin angin hybrid 3 savonius – 3 darrieus terhadap variasi kecepatan angin.

Pada gambar 9, hubungan antara pembebanan gaya dengan efisiensi turbin 3S3D terhadap variasi kecepatan angin, terlihat jelas bahwa efisiensi tertinggi pada saat kecepatan angin 4 m/s. Secara berurut dari efisiensi tertinggi ke terendah adalah kecepatan angin 4 m/s dengan efisiensi 62 %, kecepatan angin 3,5 m/s dengan efisiensi 57,08 %, kecepatan angin 3 m/s dengan efisiensi 51,91 %, dan kecepatan angin 4,5 m/s dengan efisiensi 49,31 %, kecepatan angin 2,5 m/s dengan efisiensi 49,24 %, kecepatan angin 5 m/s dengan efisiensi 27,07 %, kecepatan angin 5,5 m/s dengan efisiensi 25,80 %. Kinerja dari turbin dengan variasi 3S3D

bisa saja menurun dari titik puncak kembali ke titik nol apabila variasi beban gaya ditambahkan.



Gambar 10. Hubungan antara tegangan dengan efisiensi turbin angin hybrid pada kecepatan angin 3,5 m/s

Dari gambar 10, terlihat bahwa pada kecepatan angin 3,5 m/s turbin dengan variasi 2S4D menghasilkan tegangan lebih besar daripada turbin dengan variasi 3S3D, sehingga turbin dengan variasi 2S4D menghasilkan kinerja yang lebih baik daripada turbin dengan variasi 3S3D. Begitu juga pada variasi kecepatan angin yang lain (dapat dilihat pada lampiran 6 grafik elektrik) tegangan yang dihasilkan oleh turbin dengan variasi 2S4D lebih besar daripada turbin dengan variasi 3S3D, sehingga kinerja yang dihasilkan oleh turbin dengan variasi 2S4D lebih baik daripada turbin dengan variasi 3S3D.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi kecepatan angin mempengaruhi kinerja turbin angin hybrid, dimana pada variasi kecepatan angin 2,5 m/s, turbin dengan variasi 2S4D memiliki kinerja terbaik sebesar 88,43% dengan pembebanan 10 N. Sedangkan turbin dengan variasi 3S3D memiliki kinerja terbaik sebesar 62% pada variasi kecepatan angin 4 m/s dengan pembebanan 10 N.
2. Variasi jumlah sudu mempengaruhi kinerja turbin angin hybrid, dimana turbin dengan variasi 2S4D memiliki kinerja terbaik dengan nilai efisiensi rata-rata sebesar 37,6%. Sedangkan turbin dengan variasi 3S3D memiliki nilai efisiensi rata-rata sebesar 29,6%.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Ajao, K.R., J.S.O. Adeniyi. 2009. *Comparison of Theoretical and Experimental Power Output of a Small 3-bladed Horizontal-axis Wind Turbine*. *Journal of American Science*, (online), 5(4) (www.jofamericanscience.org), diakses 23 Juli 2017)
- Barlow, Jewel B., William H. Rae, Alan Pope. 1999. *Low Speed Wind Tunnel Testing*. 3rd Ed. New York: John Wiley & Sons.

- 189 Chandra Buana, Muh. Yusuf Yunus, Muh. Rinaldi Pratama dan Muh. Saqib Nurfaizi, Uji Experimental Model Turbin Hybrid Savonius Bertingkat dan Darrieus Tipe H Rotor
- Blakwell, B.F, R.E. Sheldahl & L.V. Felt. 1977. Wind Tunnel Performance Data for Twoand Three-bucket Savonius Rotors. Sandia National Laboratory.
- Dieter, Charles D.*et.al.* 2000. *Bird Mortality Associated with Wind Turbines at the Buffalo Ridge Wind Resource Area, Minnesota*. *The American Midland Naturalist* (online), 143 (1) ([https://doi.org/10.1674/0003-0031\(2000\)143\[0041:BMAWWT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/0003-0031(2000)143[0041:BMAWWT]2.0.CO;2)), diakses 4 Juli 2017)
- Dutta, Animesh. 2006. *Basics of Wind Technology*. Asian Institute of Technology Thailand. 6 Juli 2006.
- Hau, Erich. 2005. *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*. 2nd ed. London: Springer.
- Karin, Ahlund. 2004. *Investigation of the NREL NASA/AMESWind Turbine Aerodynamics Database*. Swedish Defence Research Agency, (Online), FFA SE-172 90 stockholm.
- LAPAN. 2005. Data Kecepatan Angin di Pulau Sulawesi. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- Lustia Dewi, Marizka. 2010. Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk Optimasi Kinerja Turbin. Skripsi. Surakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret.
- Mittal, Neeraj. 2001. *Investigation of Performance Characteristics of a Novel VAWT*. Thesis. UK: Departement of Mechanical Engineering University ofStrathclyde.
- Mulyadi, Muhammad. 2010. Analisis Aerodinamika Pada Sayap Pesawat Terbang dengan Menggunakan Software berbasis ComputationalFluid Dynamics (CFD). *Gunadarma University E-paper*, (online), (www.papers.gunadarma.ac.id/index.php/industry/article/viewFile/432/421), Diakses 28 Juli 2017).
- Nakhoda, Yusuf Ismail dan Chorul Saleh. 2015. Rancang Bangun kincir Angin Pembangkit Tenaga Listrik Sumbu Vertikal Savonius Portabel Menggunakan Generator Magnet Permanen. *JurnalINDUSTRI Inovatif*, (online), 5 (2): 19-24, (<http://ejournal.itn.ac.id>), diakses 28 juli 2017)
- Nyun, Park Bae. 2013. An analysis of long-term scenarios for the transition to renewable energy in the Korean electricity sector. *Energy Policy*, Elsevier.
- PLN. Cabang Kuala Simpang. 2013. Data Konsumsi energi listrik Aceh Tamiang. PLN Aceh Tamiang.
- Putranto, dkk. 2011. Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal untuk Penerangan Rumah Tangga. Tugas Akhir. Semarang: Universitas Diponegoro.

- Olson, David dan Kenneth Visser. 2008. *Aerodynamic Optimization of Contra – Rotating VAWT*. Albuquerque: Sandia Laboratories.
- Saha *et.al.* 2005. *On the Performance Analysis of Savonius rotor with twisted blades*. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, (online) 31 (2006), (<https://www.journals.elsevier.com>), diakses 28 juli 2017)
- Sharma, K.K, R.Gupta, A.Biswas. 2014. *Performance Measurement of a Two-Stage Two-Bladed Savonius Rotor*. *International Journal of Renewable Energy Research*, (online) 4(1), (www.ijrer.org), diakses 3 agustus 2017)
- Tasmianto, dkk. 2016. Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Angin Hybrid Turbin Savonius dan Turbin Darrieus. Laporan Tugas Akhir. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.