

**UJI KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL TIPE DARRIEUS-H
NACA 0018 MODIFIKASI DENGAN VARIASI SUDUT *PITCH*
35⁰,40⁰,45⁰,50⁰,55⁰,60⁰**



PUBLIKASI ILMIAH

Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik

Oleh :

YUNIKA CAHYO PRASTIKO

D 200 120 087

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

2016

HALAMAN PERSETUJUAN

**UJI KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL TIPE DARRIEUS-H
NACA 0018 MODIFIKASI DENGAN VARIASI SUDUT *PITCH*
35⁰,40⁰,45⁰,50⁰,55⁰,60⁰**

PUBLIKASI ILMIAH

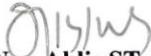
oleh:

YUNIKA CAHYO PRASTIKO

D 200 120 087

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing


Nur Aklis ST, M.Eng.
NIDN. 0001037801

HALAMAN PENGESAHAN

**UJI KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL TIPE DARRIEUS-H
NACA 0018 MODIFIKASI DENGAN VARIASI SUDUT *PITCH*
35⁰,40⁰,45⁰,50⁰,55⁰,60⁰.**

OLEH

YUNIKA CAHYO PRASTIKO

D 200 120 087

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Jum'at, 14 Oktober 2016

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Nur aklis ST, M.Eng
(Ketua Dewan Penguji)
2. Wijianto ST, M.Eng.Sc
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Ir. Sartono Putro, MT
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, MT, Ph.D

NIK.682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak ada karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, Kamis 20 Oktober 2016

Penulis



YUNIKA CAHYO PRASTIKO

D 200 120 087

UJI KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL TIPE DARRIEUS-H NACA 0018 MODIFIKASI DENGAN VARIASI SUDUT *PITCH* 35⁰,40⁰,45⁰,50⁰,55⁰,60⁰

Abstrak

Energi angin merupakan salah satu energi alternatif yang dapat dengan cepat diproses kembali oleh alam. Energi angin dirubah menjadi energi listrik menggunakan turbin angin. Turbin angin sumbu vertikal merupakan jenis turbin angin yang dapat berputar pada kecepatan rendah dengan biaya pembuatan yang murah. Sudut *pitch* akan berpengaruh pada kinerja turbin angin dan penambahan flap pada airfoil NACA dapat meningkatkan gaya lift. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui besarnya daya, torsi, efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin serta mengetahui sudut *pitch* yang paling efektif mengekstrak energi. Penelitian ini menggunakan turbin angin sumbu vertikal darrieus-H NACA 0018 modifikasi dengan sudut *pitch* yang di gunakan mulai dari 35⁰,40⁰,45⁰,50⁰,55⁰,60⁰. Kinerja turbin angin ini diukur menggunakan terowongan angin saluran terbuka. Dengan kecepatan angin 4,8 m/s. dengan beban seberat 250 gram. Hasil dari penelitian ini di ketahui bahwa sudut *pitch* berpengaruh pada daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin angin, pada penelitian turbin angin sumbu vertikal darrieus-H NACA 0018 modifikasi didapatkan energi terbesar turbin pada sudut pitch 50⁰ dengan daya yang dihasilkan sebesar 0,859 Watt, torsi mencapai 0,154 Nm dan efisiensinya mencapai 4,90%.

Kata kunci: Flap, NACA 0018 Modifikasi, Turbin, sudut *pitch*, Turbin Angin Sumbu Vertikal. Darrieus-H.

Abstracts

Wind energy is the one of alternative energy that could be produced rapidly through natural processes. wind energy could be converted into electrical energy by using wind turbine. Vertical axis wind turbine is a type of wind turbine that could spined out at low speed and was made with low costing. The performance of the wind turbine will be affected by the pitch angle and the additional of the flap on the airfoil NACA could be increase the lift force. . The purpose of this research was to determine the power, the torque, the efficiency of the wind turbine, and also which one of the pitch angle most effectively to extracting energy. This research was conducted by using vertical axis wind turbine Darrieus-H NACA 0018 modified with using pitch angle 35⁰,40⁰,45⁰,50⁰,55⁰,60⁰. The performance of this wind turbin measured using wind tunnel type open circuit with wind speed 4,8 m/s and the weight load 250 gramThe result showed that the number of the pitch angle was affected the power and the efficiency of the wind turbine. In this research of vertical axis wind turbine darrieus-H NACA 0018 modification capable of generating power 0,859 Watt, With pitch angle 50⁰, the torque 0,154 Nm and 4,90 % for the maximum efficiency.

Keywords: Flap, NACA 0018 modification, pitch angle, vertical axis wind turbine Darrieus type H,

1.PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi angin merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang dapat diproduksi kembali melalui proses alam.. Di Indonesia, kecepatan angin berkisar antara 2 m/s hingga 6 m/s. Turbin angin adalah suatu alat yang sumber energinya berasal dari angin yang kemudian dikonversikan menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator listrik. Keuntungan yang didapat adalah tidak mengeluarkan gas-gas sisa pembakaran seperti karbon monoksida (CO) yang berbahaya jika jumlahnya berlebih, sehingga lebih ramah lingkungan. Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasinya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Jika dibandingkan efisiensi turbin, turbin angin sumbu horisontal lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dibandingkan turbin angin sumbu vertikal. Tetapi turbin angin sumbu vertikal juga memiliki keunggulan, yaitu:

- a. Tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, tidak seperti turbin angin horisontal yang memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin.
- b. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar
- c. Konstruksi turbin sederhana
- d. Dapat didirikan dekat dengan permukaan tanah. Sehingga memungkinkan menempatkan komponen mekanik dan komponen elektronik yang mendukung beroperasinya turbin

Penelitian tentang turbin angin sumbu vertical sudah banyak dilakukan peneliti, antara lain Siregar, I. H., & Kurniawan, M. F. (2013) melakukan penelitian tentang kinerja turbin angin sumbu vertikal darrieus tipe-H dengan profil NACA 0018 Didapatkan hasil dengan menggunakan 3 sudu lebih efektif dibandingkan dengan jumlah sudu 4 dan 5. Ionescu, R. D., szava, I., Vlase, S., Ivanoiu, M., & Munteanu, R., (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh sudut *flap* pada blade NACA 0018 dengan menggunakan CFD, disimpulkan bahwa sudut

flaps 10 deg memiliki kinerja lebih baik. Xiao, Q., Liu, W., (2013) melakukan penelitian dengan simulasi numerik tentang penerapan *flap* tetap dan berisolasi pada blade vertikal axis tidal turbin (VATT) menggunakan profil NACA 0018. Dengan penggunaan *flap* akan meningkatkan koefisien daya sebesar 28% dibandingkan blade turbin konvensional. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil yang berbeda-beda, sudut pitch berpengaruh terhadap kinerja turbin pada semua profil NACA. Mäläl, I., Dumitrescu, H., & Cardoso, V. (2008) melakukan penelitian dengan simulasi turbin angin sumbu vertikal NACA 0018 3 blade dengan rasio kecepatan rendah. Didapatkan adanya dua aliran yang mengalir pada sudut serang lebih dari 45^0 dan aliran tersebut akan mempengaruhi aliran pada bagian atas airfoil. Villara, F. G., Jimenez, E. T., Vicente, R. D., & González, J.I. J. (2015) merancang dan meneliti Turbin Vertical Axis Wind (VAWT) prototipe untuk mengevaluasi kinerjanya dengan beberapa parameter geometris yang dimodifikasi, Pengujian dilakukan dengan terowongan angin 40 cm x 40 cm dengan tujuan memungkinkan untuk memproduksi turbin angin skala kecil dengan fleksibilitas untuk memodifikasi desain dengan biaya rendah dan tidak membutuhkan waktu yang lama.

Sudut *pitch* adalah sudut antara garis chord dengan bidang putar turbin angin. Perubahan sudut *pitch* sangat berpengaruh pada daya keluaran turbin angin karena berkaitan dengan kinerja aerodinamika rotor turbin angin. Dengan mengatur sudut *pitch* pada kondisi optimal maka akan didapat daya yang maksimal. Dengan mempertimbangkan pengaruh sudut *pitch* tersebut diharapkan unjuk kerja turbin angin skala kecil pada kecepatan rendah dapat ditingkatkan. (Muhammad fariedl,dkk)

Mengacu pada beberapa hal di atas maka peneliti mencoba untuk melakukan beberapa inovasi pada turbin angin dan diharapkan mendapatkan hasil yang lebih optimum, salah satunya yaitu dengan membuat turbin angin vertikal tipe darrieus-H

NACA 0018 modifikasi dengan memperbesar sudut *pitch* 35° , 40° , 45° , 50° , 55° sampai 60°

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui pengaruh sudut *pitch* 35° , 40° , 45° , 50° , 55° , 60° turbin angin darrieus-H NACA 0018 modifikasi *flap* terhadap putaran yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh sudut *pitch* 35° , 40° , 45° , 50° , 55° , 60° turbin angin darrieus-H NACA 0018 modifikasi *flap* terhadap daya , torsi dan efisiensi yang dihasilkan.

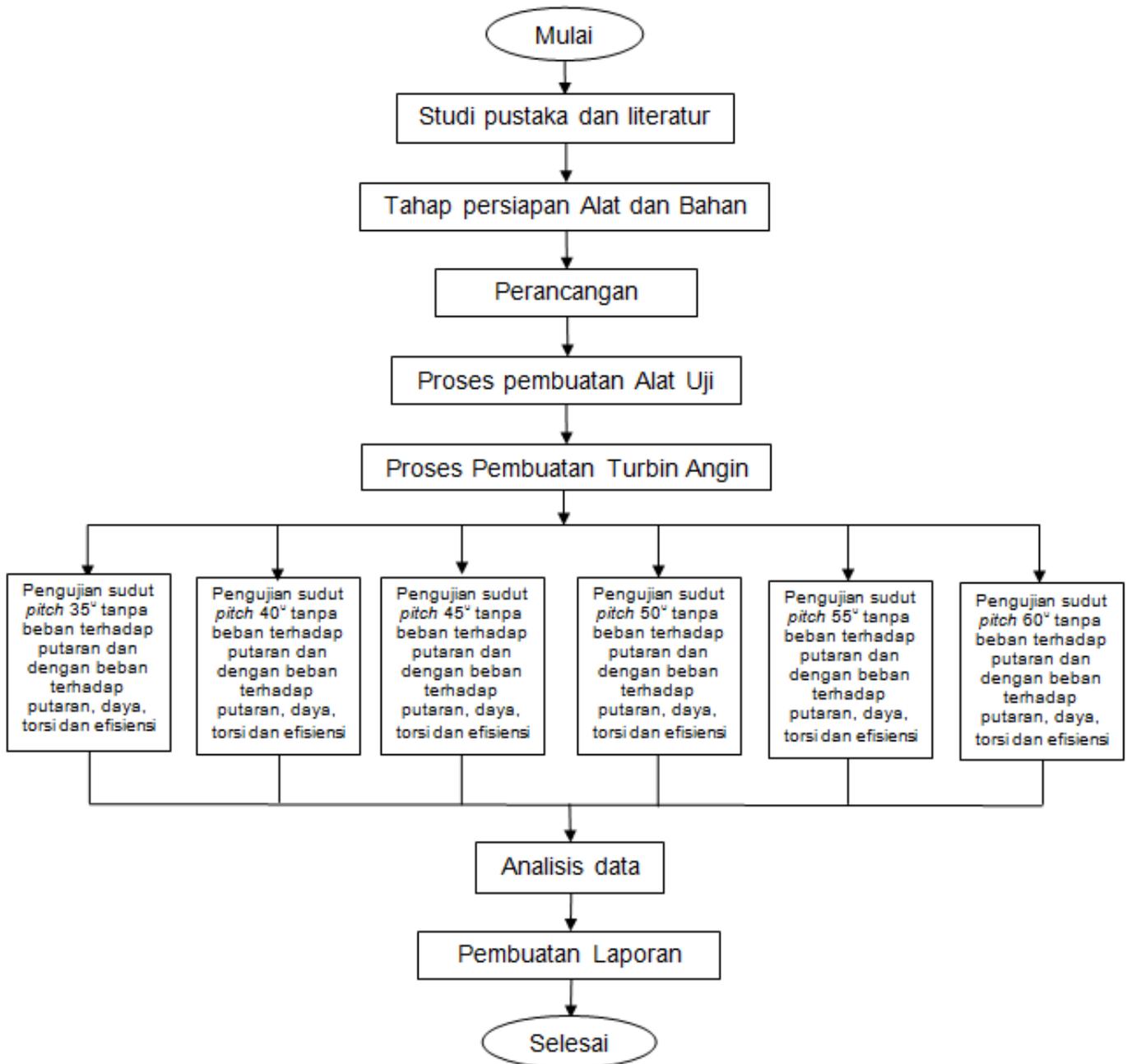
1.3 Batasan Masalah

Batasan dari penelitian ini antara lain:

1. Tipe turbin angin adalah VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*) dengan blade yang berjumlah 3 buah.
2. Diameter turbin angin 44 centimeter dan menggunakan NACA 0018 modifikasi pada bentuk airfoilnya.
3. Penelitian menggunakan terowongan angin dengan kecepatan angin 4,8 m/s
4. Penelitian hanya dibatasi pada bagian sudu *pitch* turbin angin, sedangkan bagian konstruksi diabaikan.

2.METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Alir penelitian

2.2 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam pengerjaan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menentukan profil *airfoil* yang akan digunakan dengan mendownload pada UIUC Airfoil data site dan memodelkan modifikasi sudu dengan AutoCAD
2. Membuat desain perancangan turbin angin dengan Solidwork.
3. Membuat perancangan turbin angin.
4. Melakukan pengujian kinerja turbin angin.
5. Analisis data dari pengujian turbin angin.

2.3 Tahapan Pengujian

Adapun tahapan pengujian sebagai berikut :

1. Mempersiapkan dan memasang komponen terowongan angin serta turbin angin yang akan digunakan dan memastikan semua terpasang dengan benar.
2. Atur sudut *pitch* pada turbin angin dan menyalakan *tachometer*.
3. Memasang benang yang sudah terikat dengan beban seberat 250 gram pada *pully* yang sudah terpasang di *flange* turbin.
4. Menyalakan *fan* sebagai suplai angin
5. Menyalakan *stopwatch* untuk menghitung waktu beban naik sampai ketinggian 1,9 meter
6. Mengulangi percobaan untuk variasi tanpa pembebanan dengan cara yang sama, tetapi tidak ada beban yang terangkat.
7. Setiap variasi sudut *pitch* dilakukan percobaan sebanyak 6 kali agar hasil yang diperoleh lebih maksimal.

2.4 Alat dan bahan pengujian

A. Satu set alat uji terowongan angin



Gambar 2 terowongan angin

B. Turbin angin sumbu vertikal darrieus-H NACA 0018 modifikasi dengan bagian-bagian penyusunnya antara lain:

Tabel 1 Bagian-bagian penyusun turbin angin

No.	Nama bagian	Fungsi
1.	Sudu turbin (<i>blade</i>)	sudu turbin berfungsi sebagai penangkap energi kinetik angin yang akan di konfersi menjadi energi gerak (mekanik) putar pada poros penggerak.
2.	<i>Flange</i>	<i>Flange</i> digunakan untuk menempatkan poros utama dan menempatkan lengan sudu
3.	<i>Pully</i>	<i>Pully</i> , digunakan untuk menggulung tali yang dihubungkan dengan beban 250 gram.
4.	poros turbin	Poros turbin berfungsi sebagai penyangga turbin angin dan tempat terhubungnya <i>flange</i> .
5.	lengan sudu	Lengan Sudu, digunakan untuk menghubungkan antara sudu dengan <i>flange</i>
6.	Poros penyangga	Poros penyangga berfungsi sebagai penyangga kontruksi turbin angin.

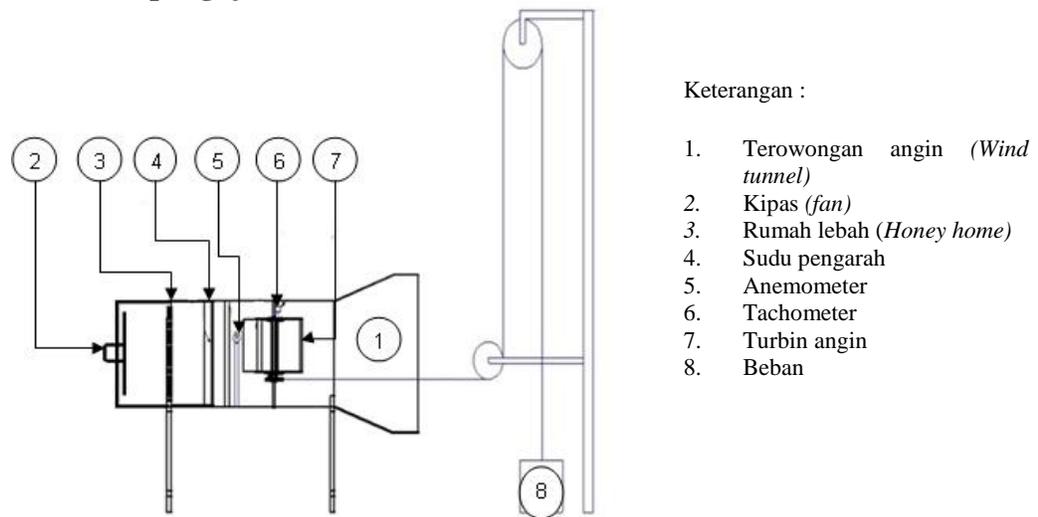
C. Alat yang digunakan antara lain:

Tabel 2 Alat yang digunakan dalam penelitian

No.	Nama Alat	Fungsi
1.	Tachometer	Tachometer, digunakan untuk mengukur kecepatan putar turbin angin.
2.	Anemometer	Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara setelah melewati <i>guide vane</i> dan sebelum mengenai sudu turbin.
3.	Beban	Beban digunakan untuk mengukur daya yang dikeluarkan oleh turbin angina. Beban yang digunakan seberat 250 gram.
4.	Stopwatch	Stopwatch digunakan untuk menghitung waktu yang dibutuhkan beban terangkat pada ketinggian 1,9 meter.

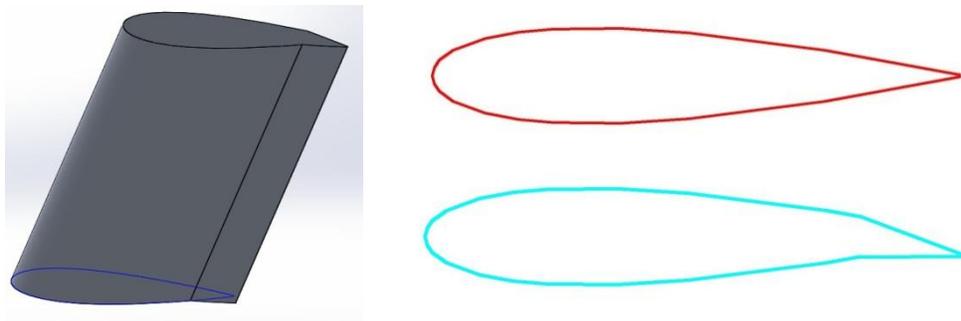
5.	Busur	Busur digunakan untuk menentukan besarnya sudut <i>pitch</i> turbin.
6.	kunci pas	Kunci pas digunakan untuk merakit komponen turbin angin.
7.	Tali	Tali digunakan sebagai penghubung antara <i>pully</i> dengan beban.

2.5 Instalasi pengujian



Gambar 3 instalasi pengujian turbin angin

3.HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4 NACA 0018 modifikasi



Gambar 5 Turbin Angin dengan NACA 0018 modifikasi

3.1 Spesifikasi Turbin Angin

Tabel 3 Spesifikasi Turbin Angin

No	Jenis Turbin	darrieus H
1	Jenis Axis	Vertical Axis Wind Turbin
2	Diameter	0,44 meter
3	Panjang Chord	30 cm
4	Tinggi Blade	60 cm
5	Berat Blade	850 gram
6	Material Blade	kayu jati tebal 30 mm dan Plat Zeng
7	Jumlah Blade	3 buah
8	Nomor NACA	0018 modifikasi

3.2 Hasil Pengujian kinerja turbin angina darrieus NACA 0018 modifikasi dengan variasi sudut *pitch*.

Tabel 4 data hasil pengujian tanpa pembebanan

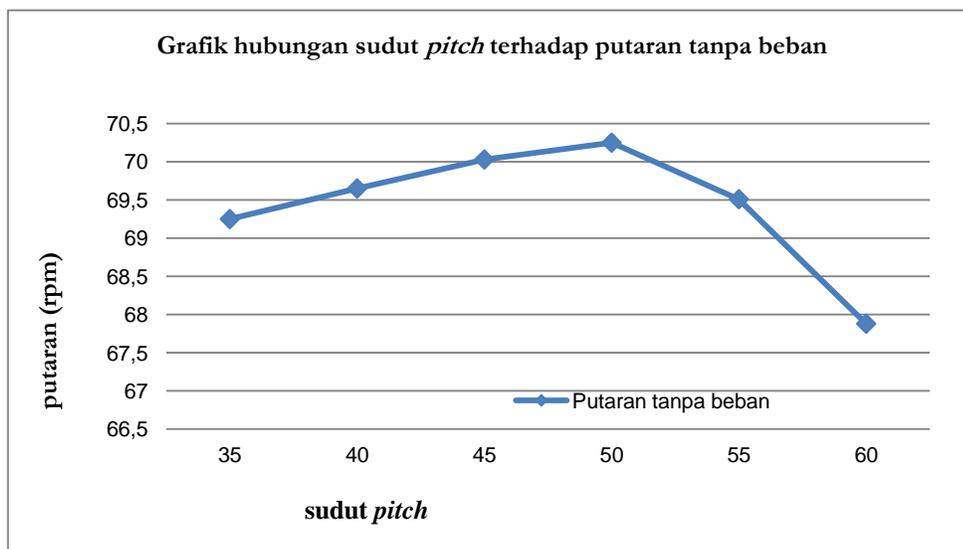
No	Sudut pitch	Kecepatan angin (m/s)	Putaran (rpm)
1.	35 ⁰	4,8	69,25
2.	40 ⁰	4,8	69,65
3.	45 ⁰	4,8	70,03
4.	50 ⁰	4,8	70,25
5.	55 ⁰	4,8	69,51
6.	60 ⁰	4,8	67,88

Tabel 5 data hasil pengujian dengan pembebanan

No	Sudut <i>pitch</i>	Beban (kg)	Ketinggian (m)	Kecepatan angin (m/s)	Putaran (rpm)	Daya angin (Watt)	Daya turbin (Watt)	Torsi (Nm)	Efisiensi (%)
1.	35 ⁰	0,25	1,9	4,8	45,5	17,51	0,704	0,147	4,02
2.	40 ⁰	0,25	1,9	4,8	51,25	17,51	0,795	0,148	4,54
3.	45 ⁰	0,25	1,9	4,8	53	17,51	0,806	0,151	4,60
4.	50 ⁰	0,25	1,9	4,8	55,125	17,51	0,859	0,154	4,90
5.	55 ⁰	0,25	1,9	4,8	54,75	17,51	0,848	0,149	4,84
6.	60 ⁰	0,25	1,9	4,8	54,25	17,51	0,841	0,148	4,80

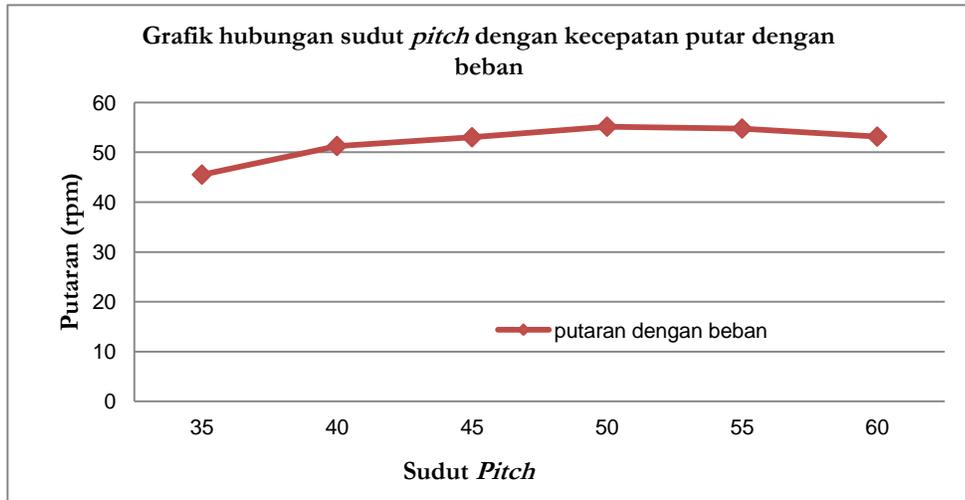
Dari data di atas menunjukkan besarnya daya dan rpm turbin yang dihasilkan mulai dari sudut *pitch* 35⁰ sampai dengan sudut *pitch* 60⁰ mengalami kenaikan seiring dengan bertambah besarnya sudut *pitch* kenaikan tersebut terjadi pada sudut *pitch* 35⁰ sampai dengan 50⁰ dengan, namun daya dan putaran turbin mengalami penurunan pada sudut *pitch* diatas 50⁰ yakni pada sudut *pitch* 55⁰ dan sudut *pitch* 60⁰. Daya turbin angin terbesar pada sudut *pitch* 50⁰ dengan daya yang dihasilkan sebesar 0,859 Watt dan putaran yang dihasilkan sebesar 55,125 rpm.

Dari data pengujian tanpa pembebanan diatas maka didapatkan grafik antara sudut dengan putaran yang dihasilkan oleh turbin angin yaitu sebagai berikut:

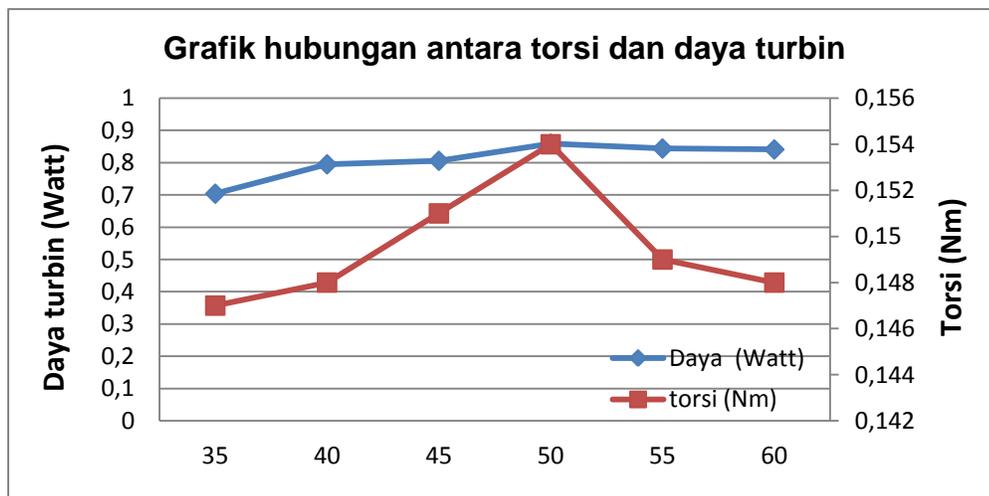


Gambar 6 hubungan antara sudut *pitch* dengan putaran tanpa pembebanan

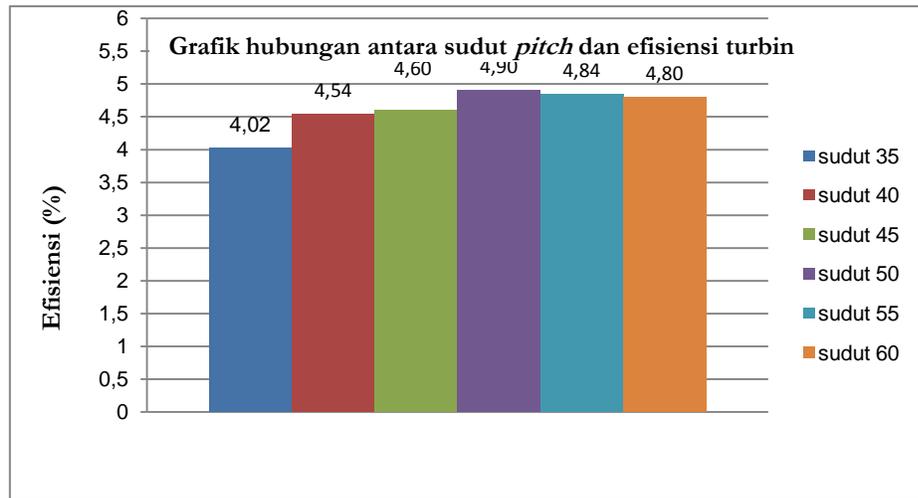
Sedangkan dari data pengujian dengan pembebanan diatas didapatkan grafik antara sudut dengan putaran yang dihasilkan oleh turbin angin yaitu sebagai berikut:



Gambar 7 hubungan antara sudut *pitch* dengan putaran dengan pembebanan

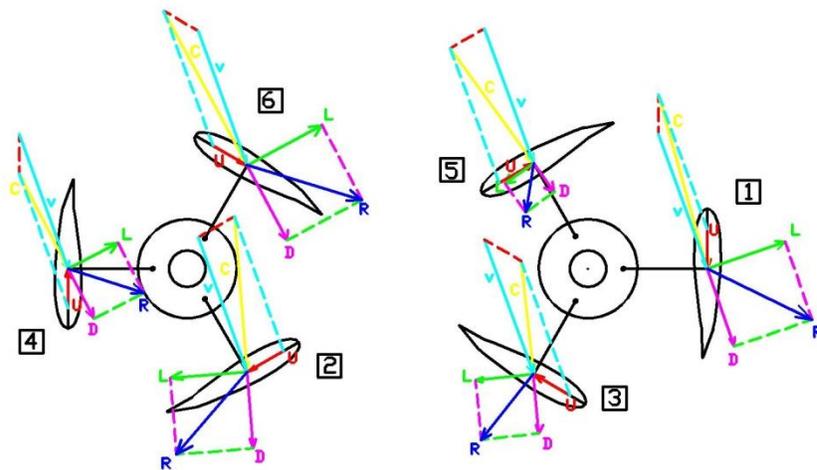


Gambar 8 hubungan antara torsi dan daya turbin terhadap sudut *pitch*



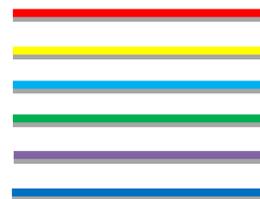
Gambar 9 hubungan antara sudut *pitch* dan efisiensi turbin.

3.3 Analisis segitiga kecepatan pada setiap posisi sudu



Gambar 10 analisis segitiga kecepatan

- U= Kecepatan putar sudu (m/s)
- C= Kecepatan relative sudu (m/s)
- V= Kecepatan angin (m/s)
- L= Gaya *lift* (N)
- D= Gaya *drag* (N)
- R= Resultan gaya (N)



Pada posisi 1 terjadi resultan yang dihasilkan dari gaya lift dan drag yang searah dengan putaran turbin sehingga pada posisi ini terjadi penambahan kecepatan putar sudu. Pada posisi 2 terjadi resultan gaya yang arah searah dengan putaran turbin sehingga ada penambahan putaran sudu pada posisi ini. Pada posisi 3 terjadi

resultan gaya yang berlawanan dengan arah putaran turbin sehingga pada posisi ini cenderung menghambat putaran turbin. Pada posisi 4 terjadi resultan gaya yang berlawanan dengan arah putaran turbin dengan mengakibatkan hambatan turbin yang timbul semakin besar. Pada posisi 5 terjadi resultan gaya yang arahnya berlawanan dengan putaran turbin dan akan menghambat putaran turbin. Pada posisi 6 terjadi resultan gaya yang searah dengan putaran turbin sehingga pada posisi ini terjadi penambahan kecepatan putar sudu. Perbedaan selisih antara penambahan gaya putar sudu dan gaya hambat sudu pada setiap besaran sudut *pitch* menghasilkan perbedaan kecepatan pada setiap besaran sudut *pitch*.

Dari penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Libert Sijagat (2013) yang menggunakan NACA 0018 didapatkan sudut *pitch* 6° yang paling baik dengan efisiensi 16,53%. Dari penelitian terdahulu didapatkan daya dan efisiensi yang dihasilkan akan naik seiring dengan besarnya sudut *pitch*, pada sudut *pitch* tertentu akan mencapai energi yang optimum kemudian akan mengalami penurunan. Sedangkan untuk penelitian ini di dapatkan sudut *pitch* 50° yang paling efektif mengekstrak energi dengan efisiensi sebesar 4,90% dan daya yang dihasilkan sebesar 0,859 Watt. Hal ini setara dengan torsi maksimum yang dihasilkan oleh turbin sebesar 0,154 Nm pada sudut *pitch* 50° .

4. PENUTUP

Dari penelitian yang telah dilakukan tentang turbin angin sumbu vertical darrieus-H dengan NACA 0018 dengan jumlah sudu 3 buah, diameter 44 cm, beban 250 gram dan kecepatan angin 4,8 m/s dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sudut *pitch* berpengaruh pada kinerja kincir angin, semakin bertambahnya sudut *pitch* semakin besar putaran yang dihasilkan namun pada sudut tertentu putaran akan mengalami penurunan, putaran maksimal didapatkan pada sudut 50° sebesar 70,25 rpm.
2. Pada sudut *pitch* yang sama pengujian dengan pembebanan menghasilkan daya maksimum sebesar 0,859 Watt dan efisiensi maksimum 4,90% dan torsi 0,154 Nm

PERSANTUNAN

Puji syukur alhamdulillah, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas beka, rahmat, dan hidanya-Nya sehingga penyusunan laporan penelitian tugas akhir dapat terselesaikan :

Tugas Akhir berjudul “UJI KINERJA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL TIPE DARRIEUS-H NACA 0018 MODIFIKASI DENGAN VARIASI SUDUT *PITCH* 35⁰,40⁰,45⁰,50⁰,55⁰,60⁰“ dapat diselesaikan atas dukungan dari beberapa pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua tersayang, yang senantiasa mendoakan yang terbaik untuk kami putra-putranya, sehingga kami bisa sampai saat ini.
2. Bapak Ir. Sri Sunarjono, MT., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
3. Bapak Tri Widodo BR, ST., MSc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
4. Nur Aklis, ST.,M.Eng selaku dosen pembimbing utama yang senantiasa memberikan arahan dan masukan-masukan yang sangat bermanfaat bagi terselesaikannya tugas ini.
5. Bapak Wijianto, ST, M.Eng, Sc. Selaku dosen pembimbing pendamping telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman seperjuangan 2012, yang telah 4 tahun berjuang bersama baik suka maupun duka.
7. Serta seluruh pihak lain yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Beri, H., & Yao, Y. (2011). *Double Multiple Stream Tube Model and Numerical Analysis of Vertical Axis Wind Turbine*. Journal of Energy and Power Engineering, 2011, 3, 262-270
- Elkhoury, M., Kiwata, T., & Aoun, E. (2015). *Experimental and numerical investigation of a three-dimensional vertical-axis wind turbine with variable-pitch*, J. Wind Eng .Ind. Aerodyn, 139, 111–123

- Faqihuddin Muhammad Fariedi, Muhammad Nizam, Dominicus Danardono Dwi Prija Tjahjana, 2014, *Karakteristik Model Turbin Angin untwisted Blade dengan Menggunakan Tipe Airfoil NREL S833 pada Kecepatan Angin Rendah*, MEKANIKA, Volume 12 Nomor 2, Universitas Sebelas Maret
- Hau, E., (2005). *Eind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics*. (H. V. Renuard & Springer, Trans). *Germanysc*, 2nd Edition.
- Ionescu, R. D., szava, I., Vlase, S., Ivanoiu, M., & Munteanu, R., (2015), *innovative solution of vertical axis wind turbine, suitable for naval industry implementation (numerical methods and analytical calculus)*. Journal of Procedia Technology, 19, 715 – 721
- Mălăel, I., Dumitrescu, H., & Cardoso, V. (2014). *Numerical Simulation of Vertical Axis Wind Turbine at Low Speed Ratio*, Global Journal of Researches in Engineering, 14, 2249-4596
- Nugroho, P. E., (2011), *Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal Mikro Wind Energy Skala Rumah Tangga*. Teknik Mesin, UMS. Surakarta.
- Schlichting, H., Truckenbrodt, E., & Ramm, H. J. (1979). *Aerodynamics Of The Airplane*, McGraw-Hill International Book Company.
- Siregar, I. H., & Kurniawan, M. F. (2013). *Karakteristik Turbin Angin Vertical Axis Profil NACA 0018 Empat Blade dengan Bantuan Guide Van*. JTM, Volume 02 Nomor 01.
- Villara, F. G., Jimenez, E. T., Vicentea, R. D., & González, J.I. J. (2015). *Development of Vertical Wind Turbines via FDM Prototype*. Journal of Procedia Engineering, 132, 78 – 85
- Xiao, Q., Liu, W., & Incecik, A. (2013). *Flow control for VATT by fixed and oscillating flap*, journal of Renewable Energy, 51, 141e152