

**STUDI PERFORMA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL
NACA 0012 DENGAN TURBIN ANGIN DARRIEUS-H PADA
VARIASI SUDUT *PITCH* 35⁰,40⁰,45⁰,50⁰,55⁰,60⁰**

NASKAH PUBLIKASI



Disusun :

H'MIM SAFI'I
NIM : D200120048

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2016

HALAMAN PERSETUJUAN

**STUDI PERFORMA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL NACA 0012
DENGAN TURBIN ANGIN DARRIEUS-H PADA VARIASI SUDUT
PITCH 35⁰,40⁰,45⁰,50⁰,55⁰,60⁰**

PUBLIKASI ILMIAH

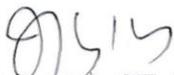
Oleh:

H'MIM SAFI'I

D 200 120 048

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing


Nur Aklis ST, M.Eng.
NIDN. 0001037801

HALAMAN PENGESAHAN
STUDI PERFORMA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL NACA 0012
DENGAN TURBIN ANGIN DARRIEUS-H PADA VARIASI SUDUT
PITCH 35⁰,40⁰,45⁰,50⁰,55⁰,60⁰

Oleh:

H'MIM SAFI

D 200 120 048

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Sabtu, 30 September 2016

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Nur Aklis, ST, M.Eng

(Ketua Dewan Penguji)

(.....)

2. Ir. Tri Tjahjono, MT

(Anggota I Dewan Penguji)

(.....)

3. Ir. Sunardi Wiyono, MT

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, MT., PhD

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 terdapat 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, 2016

Penulis



H'MIM SAFI'I

D 200 120 048

**STUDI PERFORMA TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL NACA 0012 DENGAN
TURBIN ANGIN DARRIEUS-H PADA VARIASI SUDUT *PITCH*
35⁰,40⁰,45⁰,50⁰,55⁰,60⁰**

Abstrak

Makin mahal dan berkurangnya ketersediaan sumber daya energi fosil sebagai pembangkit listrik, serta makin meningkatnya kesadaran akan usaha untuk melestarikan lingkungan, maka perlunya adanya alternatif untuk menghasilkan sumber energi, angin adalah salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Energi angin dapat dimanfaatkan dengan menggunakan turbin angin. Jenis turbin angin yang dipilih dalam tugas akhir ini adalah turbin angin Darrieus tipe-H dengan aerofoil NACA 0012, dengan panjang chord 0,3 m. Dimensi turbin angin yaitu dengan diameter (D) 0,44 m dan tinggi (H) 0,6 m. Variasi sudut pitch yang dilakukan dalam pengujian ini adalah (35⁰, 40⁰, 45⁰, 50⁰, 55⁰, 60⁰). Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sudut pitch terhadap performa turbin angin Darrieus-H. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan wind tunnel dengan kecepatan angin 4,8 m/s. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa turbin angin dengan sudut pitch 55⁰ lebih efektif dalam mengekstrak energi angin, untuk sudut pitch 35⁰, 40⁰, 45⁰, 50⁰, 55⁰, 60⁰ dengan efisiensi masing-masing 4,11%, 4,16%, 4,39%, 4,51%, 4,62%, 4,16%.

Kata Kunci : Turbin Angin Darrieus-H, NACA 0012, Sudut Pitch, Efisiensi

Abstracts

The more expensive and the more limited fossil energy resaourch as the electricity power, and the increase of awarness to preserve the environmental condition, therefore, alternativ energy resourch is necessary to be taken. Wind is a kind of renewal energy which is environmentaly friendly. Wind energy can be aplied by using wind turbine. The kind of wind turbine used in the final report research is Darrieus type-H wind turbine with aerofoil NACA 0012, the cord long is 0,3 m. The wind turbin dimension is (D) 0,44 m, tall (H) 0,6 m. The pitch degree variations done in this research test are (35⁰, 40⁰, 45⁰, 50⁰, 55⁰, 60⁰). The purpose of this research was to find out find out the relationship of pitch degree toward the Darrieus-H turbine performance. The research was done by using wind tunnel with the wind velocity of 4,8 m/s. The result obtained from the test indicated that the wind turbine with pitch degree of 55⁰ is more effective to ekstract the wind energy, and each effeciency of the degree of 35⁰, 40⁰, 45⁰, 50⁰, 55⁰, 60⁰ are 4,11%, 4,16%, 4,39%, 4,51%, 4,62%, 4,16%.

Keywords : Darrieus-H Wind Turbine, NACA 0012, Pitch Degree, Effeciency

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi alternatif yang terbarukan semakin gencar dalam pengembangannya untuk pembangkit listrik. Sumber-sumber energi terbarukan bisa berasal dari matahari, air, panas bumi, biomassa dan juga angin. Energi angin merupakan energi yang fleksibel karena dapat diterapkan dimana-mana, baik di daerah landai, dataran tinggi, dan laut. Pemakaian energi angin di Indonesia masih belum optimal hanya 1,06 Mega Watt (MW) dari 28.658,36 MW kapasitas pembangkit listrik PLN (PLN Statistik 2012) Pemanfaatan sumber energi angin di Indonesia yang masih belum optimal, hal tersebut dikarenakan kurangnya teknologi dan pengetahuan yang belum populer, arah angin di Indonesia yang mudah berubah dan kurang ekonomis.

Di Indonesia, kecepatan angin berkisar antara 2 m/s hingga 6 m/s. Dengan kecepatan angin yang dinilai cocok untuk menggunakan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil (10 kW) dan menengah (10-100 kW) untuk penggunaan energy misalnya lampu, pompa air, alat-alat elektronik dan lain-lain. Dari penelitian yang dilakukan oleh Wahl (2007), merancang turbin darrieus tipe-H dengan 3 *blade* yang mampu menghasilkan energi sebesar 5 kW yang mana energi tersebut akan disimpan di wadah selanjutnya baru digunakan untuk peralatan pengeboran dan pemanasan. Dari segi desain, konstruksi menara dan generator semua telah di uji untuk meminimalisir terjadinya kesalahan dalam merencanakan. Gaoyuan (2015), Melakukan penelitian pada turbin angin vertikal dengan NACA 0012 dan dalam penelitian menggunakan alat uji *wind tunnel*. Fungsi utama dari tes *wind tunnel* adalah untuk mengetahui kineja aerodinamis dan tekanan angin pada setiap *blade*. Elkhoury (2015), melakukan penelitian kinerja pada mikro turbin angin vertikal dengan variasi sudut *pitch*. Metode penelitian yang

dilakukan dengan menggunakan *wind tunnel*. Mekanisme variabel *pitch* menunjukkan kinerja yang optimal dibandingkan dengan *pitch* yang tetap. Perbedaan mekanisme *pitch* pada airfoil yang lebih tipis NACA 0018 mengakibatkan kinerja yang lebih baik dari pada yang diperoleh dengan NACA 0021. Ini dikaitkan dengan sudut serang dalam mekanisme variabel *pitch* beroperasi. Dari awal turbin angin vertikal dengan mekanisme variabel *pitch* dipamerkan kecepatan rendah dapat start-up dibandingkan dengan sudut *pitch* yang tetap. Napitupulu (2014), melakukan penelitian turbin angin Darrieus-H dengan profil sudu NACA 0012 yang dilakukan dengan melakukan serangkaian pengujian turbin angin dengan menggunakan variasi jumlah sudu dan sudut *pitch* pada kecepatan 3,85 m/s. Dalam pengujian melakukan pengujian terhadap variasi sudut *pitch* sudu (0^0 , 2^0 , 4^0 , 6^0 , 8^0 , 10^0 , 12^0). Hiren (2014), merancang dan melakukan pengujian turbin angin darrieus pada profil NACA 0012,0015,0018 dan dari pengujian profil di dapatakan profil 0012 profil yang paling optimum. Dari profil 0012 dilakukan pengujian dengan skala kecil pada sudut *pitch* sudu (-8^0 , -4^0 , 0^0 , 4^0 , 8^0) dan pada sudut azimut 0, 30, 60, 90. Dominy (2006), melakukan penelitian kinerja pada turbin angin darrieus sumbu vertikal NACA 0012 dengan 1,2 dan 3 blade terhadap kemampuan untuk self-start, dari hasil pengujian didapatkan dengan turbin 3 sudu mampu self start dari kecepatan angin yang jauh lebih rendah dan disarankan bahwa desain 3 sudu harus selalu diterapkan dalam pilihan untuk rotor dua berbilah.

Mengacu pada beberapa hal di atas maka Ruang lingkup penelitian ini adalah: Spesifikasi prototipe turbin angin Darrieus-H: Diameter rotor: 0,44m, Tinggi *blade*: 0,6 m, profil sudu: NACA 0012, Panjang *chord*: 0,3 m. Variasi dalam pengujian adalah sudut *pitch* 35^0 , 40^0 , 45^0 , 50^0 , 55^0 , 60^0 . Kecepatan angin 4,8 m/s

1.2 Tujuan

Tujuan spesifik yang ingin di capai pada perancangan ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi sudut *pitch* 35° , 40° , 45° , 50° , 55° , 60° . dari turbin angin darrieus-H terhadap arah angin dan kecepatan.
2. Mengetahui daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin yang dibuat.

1.3 Batasan Masalah

Banyak aspek yang terlibat dalam kegiatan perancangan dan pembuatan turbin angin ini. Terdapat batasan masalah yang perlu diberikan agar penelitian berjalan.

Batasan masalah tersebut adalah:

1. Tipe turbin angin adalah VAWT.
2. Turbin angin menggunakan 3 bilah sudu dan menggunakan NACA 0012.
3. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *wind tunnel* pada variasi sudut *pitch* 35° , 40° , 45° , 50° , 55° , 60° .
4. Pengujian hanya dibatasi pada bagian sudu turbin angin, sedangkan bagian konstruksi diabaikan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tahapan Perancangan

Jika diuraikan, tahapan yang dilakukan dalam perancangan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan profil *airfoil* yang akan digunakan dengan mendownload pada UIUC Airfoil data site 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.

2.2 Tahapan Pengujian

Pengujian terbagi menjadi dua tahap, yaitu :

1. Pengujian tanpa pembebanan pada sudut *pitch* (35° , 40° , 45° , 50° , 55° , 60°)
2. Pengujian dengan pembebanan 250 gram sudut *pitch* (35° , 40° , 45° , 50° , 55° , 60°)

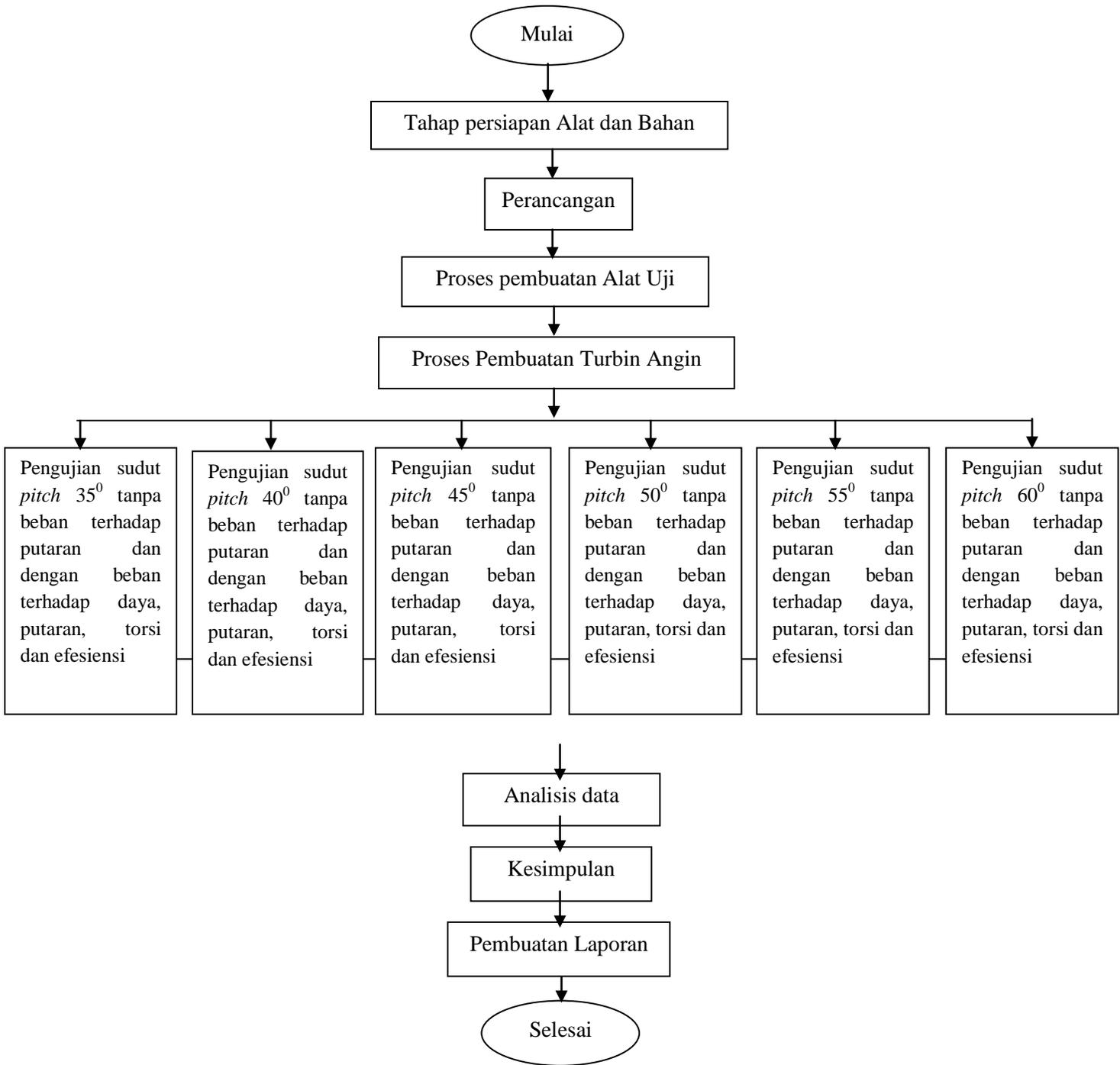
2.3 Alat dan Bahan Pengujian

1. Prosedur penelitian

Dalam penelitian yang dilakukan dengan pembebanan dan tanpa pembebanan. Maka tahapan yang harus dilakukan sebagai berikut :

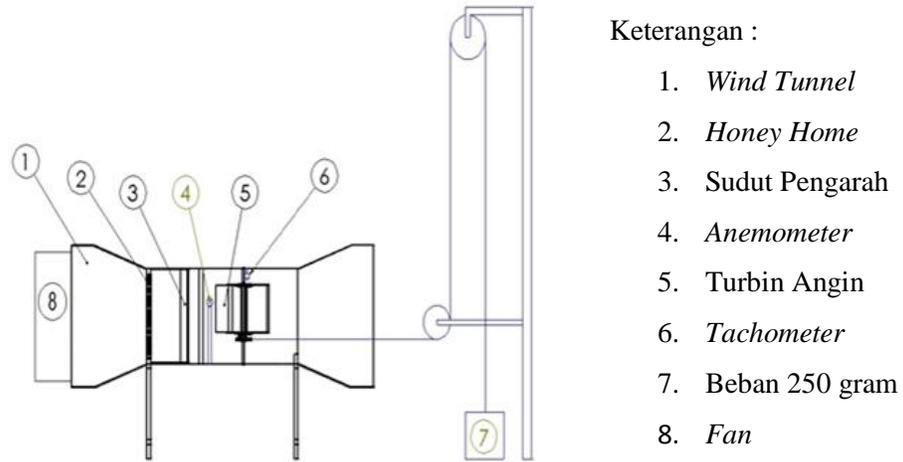
- a. Mempersiapkan dan memasang semua komponen terowongan angin dan kincir angin yang akan digunakan, pastikan semua terpasang dengan benar dan menyiapkan peralatan penelitian yaitu *anemometer*, *stopwatch*, *tachometer*, mistar, beban dan busur.
- b. Mengatur kemiringan sudut *pitch* pada kincir angin dan menyalakan *tachometer*.
- c. Memasang benang yang sudah terikat dengan beban seberat 250gram pada pulley yang terpasang di *flange* turbin. Pada saat pengujian tanpa pembebanan, beban tidak dipasang.
- d. Menyalakan *fan* sebagai suplay angin dengan kecepatan 4,8 m/s.
- e. Pengamatan mulai dilakukan dengan menghitung waktu beban naik sampai dengan ketinggian 1,9 m dari posisi awal dengan menggunakan *stopwatch*.
- f. Mengulangi pengambilan data meliputi waktu, kecepatan angin, putaran turbin dan beban. Mengulangi pengujian dengan variasi sudut *pitch*.
- g. Setiap variasi sudut *pitch* dilakukan percobaan sebanyak 6kali agar hasil yang diperoleh lebih maksimal.

2. Alur Penelitian



Gambar 1. Alur penelitian

3. Instalasi pengujian



Gambar 2. Instalasi pengujian

4. Satu set alat uji dengan komponen penyusunnya yaitu:

- a. Trowongan angin (*wind tunnel*) digunakan untuk laju aliran angin yang dihasilkan oleh *fan*



Gambar 3. Terowongan angin

- b. *Fan* digunakan untuk penyuplai udara yang dialirkan kedalam *wind tunnel* kemudian digunakan untuk menggerakkan kincir angin.
- c. *Guidedfan* diigunakan untuk mengarahkan arah angin langsung mengenai permukaan *blade*.
- d. *Honey Home* digunakan untuk merubah merubah laju aliran angin dari fan yang awalnya laminar menjadi turbulen.
- e. Tiang digunakan untuk tempat beban terangkat

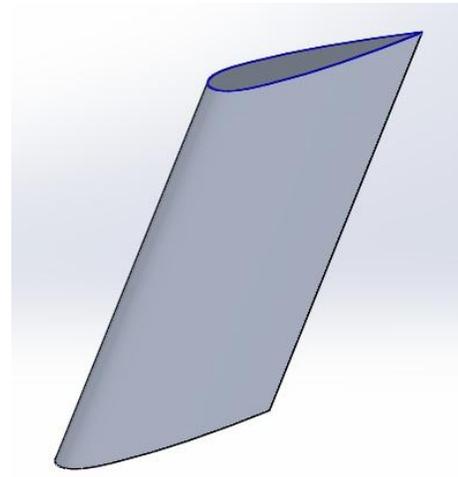
5. Satu set kincir angin dengan komponen penyusunnya antara lain:
 - a. *Flange* digunakan untuk menempatkan poros utama dan menempatkan batang sudu.
 - b. Batang Sudu, digunakan untuk menghubungkan antara sudu dengan *flange*.
 - c. Puli, digunakan untuk sarana menggulung tali yang mengakibatkan beban terangkat.
 - d. Poros, digunakan untuk penyangga turbin angin dan tempat terhubungnya *flange*.
 - e. Sudu (*Blade*) dengan NACA 0012, digunakan untuk menangkap energi kinetik angin yang akan dikonversi menjadi gerak (mekanik) putar dalam poros penggerak.
6. Alat ukur yang digunakan
 - a. *Tachometer*, digunakan untuk mengukur kecepatan putar turbin angin.
 - b. Timbangan, digunakan untuk mengukur berat *blade*.
 - c. Stopwatch, untuk menghitung waktu beban naik sampai ketinggian 1,9m.
 - d. *Anemometer* untuk mengukur kecepatan udara yang masuk melewati *guidefan*.
 - e. Beban dan tali, digunakan untuk proses pengujian pembebanan.
7. Bahan Pembuatan *Blade*
 1. Kayu dengan tebal 30 mm
 2. Plat zeng

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Spesifikasi Turbin Angin

Tabel 1 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	900 gram
6	Material Blade	Kayu dengan tebal 30 mm dan Plat Zeng
7	Jumlah Blade	3 buah
8	Nomor NACA	0012



Gambar 4. Turbin Angin dengan NACA 0012

3.2 Hasil Pengujian kinerja turbin angin dengan variasi sudut *pitch*.

Tabel 2 data hasil pengujian tanpa pembebanan

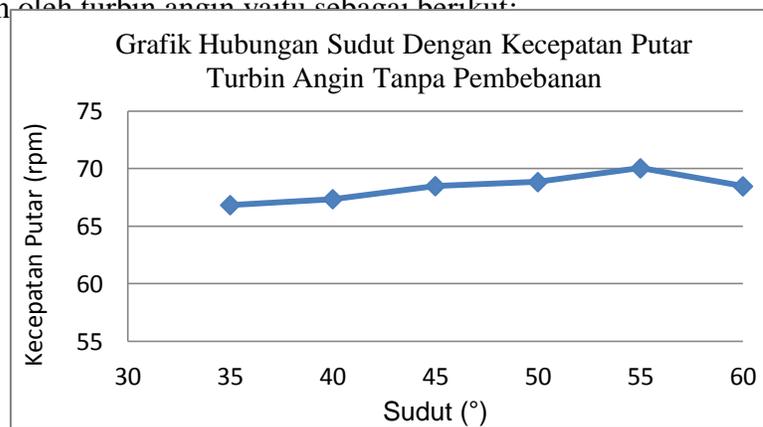
No	Sudut pitch	Kecepatan angin (m/s)	Putaran (rpm)
1.	35 ⁰	4,8	66,85
2.	40 ⁰	4,8	67,37
3.	45 ⁰	4,8	68,50
4.	50 ⁰	4,8	68,85
5.	55 ⁰	4,8	70,05
6.	60 ⁰	4,8	68,48

Tabel 3 data hasil pengujian dengan pembebanan

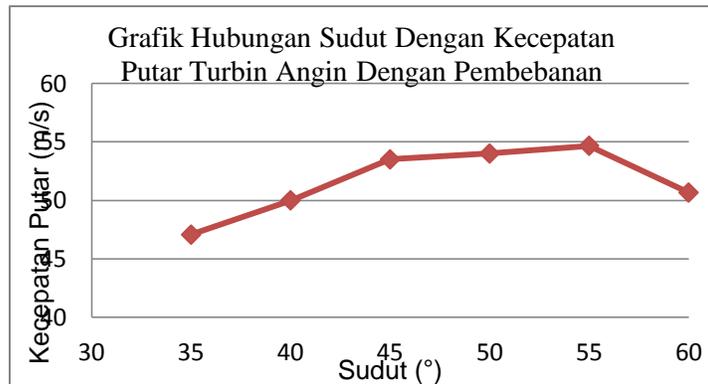
No	Sudut <i>pitch</i>	Beban (kg)	Kecepatan angin (m/s)	Putaran (rpm)	Daya angin (Watt)	Daya turbin (Watt)	Torsi (Nm)	Efisiensi i (%)
1.	35 ⁰	0,25	4,8	47,07	17,51	0,72	0,146	4,11
2.	40 ⁰	0,25	4,8	50	17,51	0,73	0,139	4,16
3.	45 ⁰	0,25	4,8	53,5	17,51	0,77	0,137	4,39
4.	50 ⁰	0,25	4,8	54	17,51	0,79	0,139	4,51
5.	55 ⁰	0,25	4,8	54,67	17,51	0,81	0,142	4,62
6.	60 ⁰	0,25	4,8	50,67	17,51	0,73	0,137	4,16

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 55⁰, namun daya dan rpm turbin mengalami penurunan pada sudut *pitch* 60⁰. Daya turbin angin terbesar pada sudut *pitch* 55⁰ dengan daya yang dihasilkan sebesar 0,81 watt dan rpm yang dihasilkan sebesar 54,67.

Dari data pengujian tanpa pembebanan turbin angin darrieus-H dengan NACA 0012 diatas maka didapatkan grafik antara sudut dengan putaran yang dihasilkan oleh turbin angin yaitu sebagai berikut:

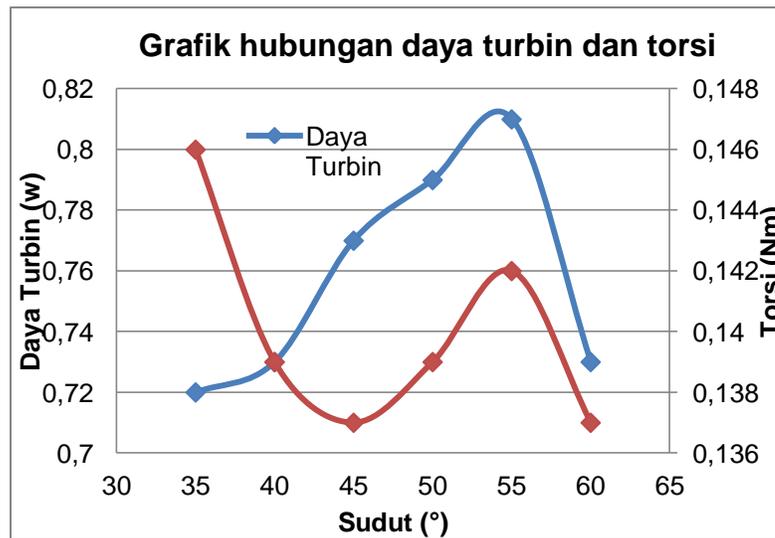


Gambar 5. Grafik hubungan antara sudut *pitch* dengan putaran tanpa pembebanan

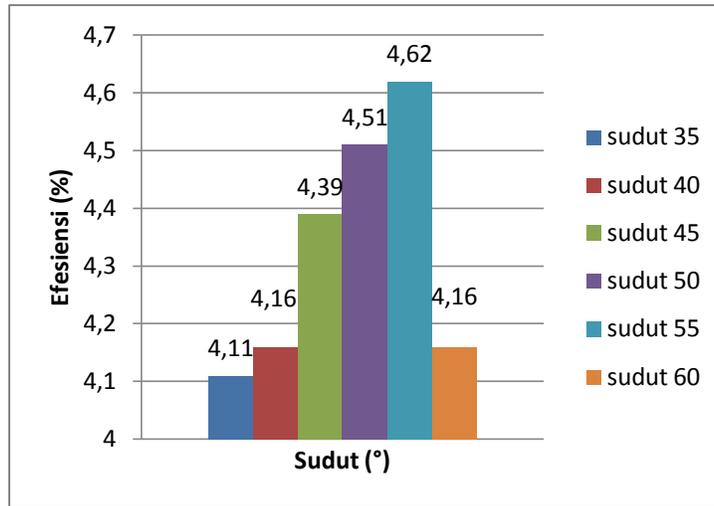


Gambar 6. Grafik hubungan antara sudut *pitch* dengan putaran dengan pembebanan

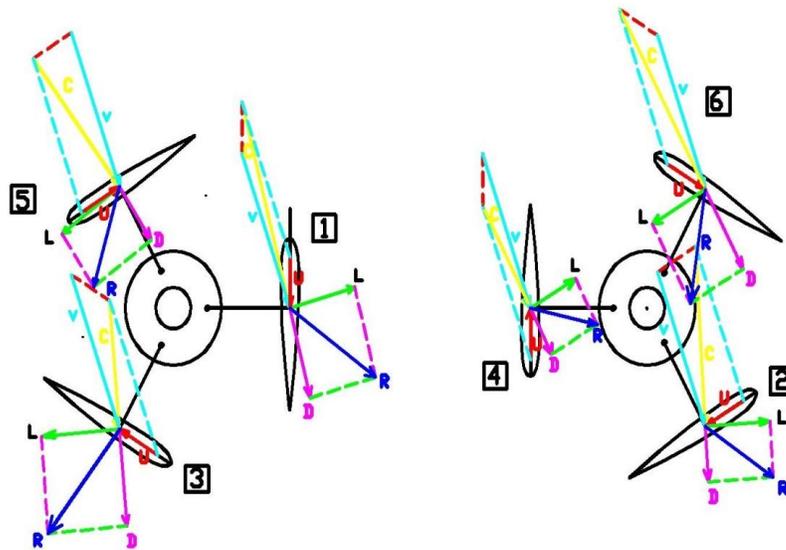
Dari data pengujian dengan pembebanan diatas didapatkan grafik antara sudut dengan putaran yang dihasilkan oleh turbin angin yaitu sebagai berikut:



Gambar 7. Grafik hubungan antara torsi dan daya turbin terhadap sudut *pitch*



Gambar 8. Grafik hubungan antara sudut *pitch* dan efisiensi turbin



Gambar 9. Segitiga Kecepatan

Analisis segitiga kecepatan diatas bahwa pada posisi 1 terjadi resultan gaya yang searah dengan putaran turbin. Pada posisi 2 terjadi resultan gaya yang arah searah dengan putaran turbin sehingga ada penambahan putaran pada posisi ini. Pada posisi 3 terjadi resultan gaya yang searah dengan putaran turbin namun gaya yang dihasilkan lebih kecil dari posisi sebelumnya. Pada posisi 4 terjadi resultan gaya yang berlawanan dengan arah putaran turbin dengan nilai resultan yang besar

mengakibatkan hambatan turbin terbesar terjadi pada posisi ini. Pada posisi 5 terjadi resultan gaya yang arahnya berlawanan dengan putaran turbin dan akan menghambat putaran turbin namun nilainya lebih kecil dari posisi 4. Pada posisi 6 terjadi resultan gaya yang searah dengan putaran turbin sehingga menambah putaran turbin dengan nilai resultan yang paling besar.

Dari penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Napitupulu (2014) yang menggunakan NACA 0012 didapatkan sudut *pitch* 6^0 yang paling baik dengan efisiensi 15,91% dan Hiren (2014) didapatkan sudut *pitch* -8^0 yang paling optimal dengan torsi sebesar 607,202. 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.

Dalam penelitian ini di dapatkan sudut *pitch* 55^0 yang paling efektif mengstrak energi dengan efisiensi sebesar 4,62% dan daya yang dihasilkan sebesar 0,81 W. Dengan torsi yang dihasilkan turbin sebesar 0,142 N/m. Torsi besar belum tentu didapatkan daya yang besar.

4. PENUTUP

Dari penelitian yang telah dilakukan tentang turbin angin sumbu vertical darrieus-H dengan NACA 0012 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 55^0 sebesar 70,05 rpm.

2. Pada sudut *pitch* yang sama pengujian dengan pembebanan menghasilkan daya maksimum sebesar 0,81 watt dan efisiensi maksimum 4,69%.

SARAN

1. Diperlukan konstruksi yang lebih kuat lagi dikarenakan sempat terjadi kerusakan di beberapa komponen turbin angin.
2. Keterbatasan alat yang digunakan sehingga memperlambat proses pembuatan turbin maka alat harus di persiapkan terlebih dahulu agar proses pembuatan berjalan sesuai dengan waktu yang ditentukan.
3. Diperlukan *tachometer* otomatis yang mencatat dan menyimpan data hasil pengukuran agar didapatkan data yang lebih akurat.
4. Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dan mendapatkan data dengan berbagai variasi angin, penggunaan *fan* dengan kecepatan angin yang bisa diatur sangat direkomendasikan dari pada *fan* dengan kecepatan angin yang konstan.

PERSANTUNAN

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

Tugas Akhir berjudul "Studi Performa Turbin Angin Sumbu Vertikal NACA 0012 Dengan Turbin Angin Darrieus-H Pada Variasi Sudut *Pitch* $35^{\circ}, 40^{\circ}, 45^{\circ}, 50^{\circ}, 55^{\circ}, 60^{\circ}$ " dapat diselesaikan atas dukungan dari beberapa pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Sri Sunarjono, MT., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

2. Bapak Tri Widodo BR, ST., MSc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
3. Bapak Nur Aklis, ST., M.Eng. Selaku dosen pembimbing utama telah memberikan bimbingan ilmu, saran, arahan, dan motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. Tri Tjahjono, MT. Selaku dosen pembimbing pendamping telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh dosen Teknik Mesin yang telah mengajarkan banyak ilmu dan segala hal yang baik.
6. Kedua orang tua tercinta Bapak K.Hartono dan Ibu Suyatmi yang senantiasa memberikan semangat dan doa tak henti-henti sehingga dalam awal masuk kuliah sampai akhir kuliah dapat berjalan dengan lancar.
7. Keluarga besar mbah Citro Sardi yang telah merawat dari kecil.
8. Teman-teman Teknik Mesin yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- Dominy Robert G, 2007, *Self-Starting Capability of a Darrieus Turbine, Northumbria University.*
- Elkhoury .M, T. Kiwata & E. Aoun, 2015, *Experimental and Numerical Investigation of a Three-Dimensional Vertical-Axis Wind Turbine with Variable-Pitch, Lebanese American University, 139(2015)111-123.*
- Erich Hau, Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics, 2005, 2nd Edition, terjemahan Horst von Renuard, Springer, Germany.
- Jin Xin, Gaoyuan Zhao, Kejun Gao, Wenbin Ju, 2015, *Darrieus Vertical Axis Wind Turbine Basic Research Methods, Mechanical Engineering Chongqing University, 42(2015)212-225.*

- Napitupulu Farel H, Ekawira K. Napitupulu, 2014, Uji Performa Turbin Angin Tipe Darrieus-H dengan Profil Sudu NACA 0012 dan Analisa Perbandingan Efisiensi Menggunakan Variasi Jumlah Sudu dan Sudut *Pitch*, Universitas Sumatera Utara, 0216-7492.
- Schlichting, H., Truckendrobt, E., & Ramm, H.J. (1979), *Aerodynamics Of The Airplane*, McGraw-Hill International Book Company.
- Tala Hiren & Sandip Patel, 2014, *Simulation of Small Scale Straight Blade Darrieus Wind Turbine Using Latest CAE Techningquest to get Optimum Power Output*, Engineering College Valsed, 1036.
- Wahl Mats, 2007, *Designing an H-rotor type Wind Turbine Of Operation on Amundsen-Scott South Pole Station*, UPPSALA UNIVERSITET.
- .