# PENGARUH VARIASI TINGGI SUDU TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN AIR DARRIEUS PROFIL NACA 0018 TIPE POROS VERTIKAL

Fajar Junarto, Rudy Soenoko, Suharto

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Jl. Mayjend Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia Email: junartofajar@gmail.com

#### **ABSTRAK**

Listrik merupakan energi yang paling banyak digunakan dalam kehidupan manusia. Namun bahan baku untuk memproduksi listrik saat ini masih masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui lagi dan keberadaannya pada saat ini semakin menipis. Sehingga perlu dicari energi alternatif lain yang mampu mengganti bahan bakar fosil sebagai bahan baku untuk pembangkit listrik seperti tenaga air. Untuk meingkatkan energi air tersebut, perlu dilakukan penambahan pembuatan alat pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yaitu turbin air. Salah satu jenis turbin air yaitu turbin Darrieus. Pada awalnya turbin jenis ini dikembangkan sebagai turbin angin yaitu jenis VAWT (Vertical Axis Wind Turbine). Penggunaan turbin darrieus sebagai turbin air diharapkan mampu mengurangi besarnya skala konstruksi jika digunakan sebagai turbin air, hal itu dikarenakan massa jenis air jauh lebih besar dibanding angin. Oleh karena itu perlu diadakan penelitian mengenai turbin air darrieus agar mendapatkan unjuk kerja yang optimal. Pada penelitian ini digunakan variabel bebas yaitu variasi tinggi sudu 25 cm, 30 cm dan 35 cm dan debit air 50 m³/jam – 70 m³/jam. Variabel terikatnya yaitu water horse power (WHP), brake horse power (BHP) dan efisiensi. Sedangkan variabel terkontrol pada penelitian ini yaitu jumlah sudu sebanyak 3 buah, diameter turbin 20 cm dan putaran turbin sebesar 100 rpm. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa dengan bertambahnya tinggi sudu dan meningkatnya debit air menyebabkan daya poros (BHP) dan efisiensi semakin meningkat.

Kata kunci: turbin air darrieus, tinggi sudu, Brake Horse Power (BHP), efisiensi

## **PENDAHULUAN**

Listrik merupakan energi yang paling banyak digunakan dalam kehidupan manusia. Namun untuk memproduksi listrik saat ini masih masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui lagi dan keberadaannya pada saat ini semakin menipis. Sehingga perlu dicari energi alternatif lain yang mampu mengganti bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik.

Indonesia merupakan negara Maritim, sehingga pemanfaatan energi air mampu mengatasi krisis energi pada saat ini. Indonesia memiliki potensi energi tenaga air yang besar yakni 75,67 GW untuk skala besar dan 7,12 GW untuk pembangkit skala sedang dan kecil. Dari besarnya jumlah potensi ini baru sedikit yang dimanfaatkan yakni 4,2 GW untuk skala besar dan 2,06 GW untuk skala kecil. Sehingga sangat disayangkan jika

ketersediaan sumber daya alam dalam bentuk air yang sangat melimpah tidak dimaksimalkan sebagai bahan baku pembangkit listrik. Karena dengan memaksimalkan pemakaian energi air memiliki manfaat maka banyak diantaranya yaitu sangat ramah lingkungan karena tidak mengandung limbah atau emisi, sumber energi terbarukan yang bersih serta dalam sistem mikro hidro dapat menyuplai listrik tanpa mempengaruhi kualitas air, tanpa mempengaruhi habitat dan tanpa mengubah rute atau aliran sungai.

Untuk meingkatkan potensi energi air tersebut, perlu dilakukan penambahan pembuatan alat pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yaitu turbin air. Salah satu jenis turbin air yaitu turbin Darrieus. Untuk memaksimalkan kinerja turbin darrieus, maka perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi ketinggian sudu terhadap unjuk kerja turbin air darrieus tipe poros vertikal.

# TINJAUAN PUSTAKA **Penelitian Sebelumnya**

Kadir (2010), telah melakukan penelitian tentang pengaruh tinggi sudu kincir air tipe sudu rata terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan. Penelitian dilakukan secara studi eksperimental menggunakan sebuah kincir air dengan variasi tinggi sudu 8 cm, 16 cm dan 24 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya tertinggi terjadi pada pengujian dengan tinggi sudu 16 cm dan daya terendah terjadi pada pengujian dengan tinggi sudu 24 cm. Sedangkan efisiensi tertinggi terjadi pada pengujian dengan tinggi sudu 8 cm dan efisiensi terendah terjadi pada pengujian dengan tinggi sudu 24 cm.

Prasetyo (2011), telah meneliti tentang pengaruh variasi tinggi sudu terhadap performansi vertical axis wind turbine jenis savonius tipe U. Penelitian dilakukan secara studi eksperimental memvariasikan tinggi dengan variabel bebas kecepatan angin pada wind tunnel dari kecepatan 3 m/s m/s. sampai Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi sudu mempengaruhi performansi turbin angin savonius tipe U. Dimana semakin besar tinggi sudu maka plan view area pun angkan meningkat. Sehingga gaya drag yang bekerja pada sudu juga semakin tinggi, akibatnya performa baik BHP dan efisiensi semakin meningkat.

Trifiananto (2012), telah meneliti tentang turbin angin tipe bilah bersirip. Penelitian dilakukan secara studi eksperimental dengan variasi kecepatan angin 3 m/s, 4m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s dan variasi panjang bilah 0,15; 0,2; 0,25 m telah diperoleh daya poros tertinggi yang dicapai turbin dengan panjang bilah 0,25 m yaitu sebesar 3,05 x 10-3 Watt pada kecepatan 7 m/s. Torsi yang tertinggi dicapai oleh turbin dengan panjang bilah 0,25 m dan kecepatan 7 m/s yaitu sebesar 1,53 x 104 Nm. Untuk efisiensinya yang tertinggi diperoleh pada

bilah dengan panjang 0,25 m dan kecepatan angin 4 m/s sebesar 0,1839 %.

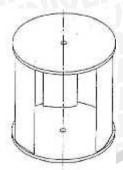
Ramadhan (2014).telah melakukan penelitian tentang pengaruh variasi tinggi sudu terhadap kinerja kincir tipe sudu lengkung overshot. Penelitian dilakukan secara studi eksperimental dengan variabel bebas dari penelitian mliputi debit air yaitu 2 m3/jam, 4 m3/jam, 6 m3/jam, 8 m3/jam serta variasi tinggi sudu kuncir air 0,05 m, 0,06 m dan 0,07 m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi tinggi sudu kincir air mempunyai pengaruh terhadap gaya pengereman, torsi, daya poros dan efisiensi kincir air tipe sudu lengkung. Semakin tinggi sudu kincir air maka gaya pengereman, torsi daya poros semakin meningkat, namun efisiensinya semakin menurun.

beberapa penelitian sebelumnya terdapat adanya persamaan yaitu pada pengaruh tinggi sudu terhadap unjuk kerja turbin. Oleh karena itu perlu adanya penelitian tentang pengaruh tinggi sudu terhadap unjuk kerja turbin air darrieus agar memperoleh tinggi sudu yang ideal unntuk efisiensi tertinggi.

#### **Turbin Darrieus**

Turbin Darrieus merupakan salah satu jenis turbin yang dikembangkan oleh aeronautical engineer seorang asal Perancis yang bernama Georges Jean Marie Dariieus pada tahun 1931. Pada awalnya turbin jenis ini dikembangkan sebagai turbin angin yaitu jenis VAWT Wind Turbine) (Vertical Axis vang memiliki keunggulan dibanding jenis turbin HAWT (Horizontal Axis Wind diantaranya Turbine) tidak terlalu memperhitungkan arah aliran karena bentuknya yang simetri, tekanan gravitasi tidak mampu balik pada bentuk sudunya, mampu beroperasi pada head dan kecepatan yang rendah, untuk aplikasi skala kecil biayanya rendah, kebisingan rendah dan desain sudu sederhana. Sedangkan kelemahannya adalah ketidak

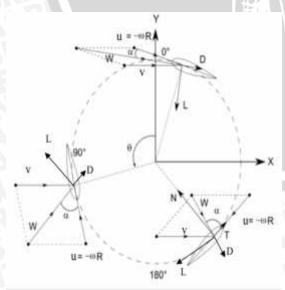
mampuan melakukan self-starting dan efisiensi yang rendah.



Gambar 1: Turbin Darrieus

Prinsip kerja turbin Darrieus berawal dari kecepatan aliran air yang menyebabkan sudu berputar dengan kecepatan putar tertentu, maka resultan dari kecepatan tersebut akan menghasilkan gaya hydrodinamis. Gaya angkat (lift) dihasilkan karena bentuk airfoil dari sudu turbin. Sudu-sudu ini memotong udara dengan sudut serang yang mengakibatkan perbedaan tekanan. Hasil dari perbedaan tekanan inilah yang mengakibatkan gaya angkat, yang mana meendorong sudu bergerak kedepan. Untuk mendorong turbin, torsi yang disebabkan oleh gaya angkat harus lebih besar dibanding torsi yang dihasilkan oleh gaya hambat (*drag*) sehingga menghasilkan torsi netto.

## **Diagram Kecepatan**



Gambar 2 Diagram Kecepatan pada Turbin Sumbu Vertikal

Dari gambar diagram kecepatan tersebut mempunyai beberapa parameter diantaranya:

- Kecepatan aliran fluida (v) yang digambarkan mempunyai arah dari kiri
- Kecepatan tangensial turbin (u) yang dapat dihitung dengan rumus (ω. τ)
- Resultan kecepatan (W) yang merupakan hasil dari penjumlahan vektor kecepatan (v) dan vektor kecepatan (u)
- Sudut rotasi sudu (θ) yang merupakan posisi derajat putar sudu
- Sudut serang (angle of attack) (a)
- Gaya angkat (*lift*) (L) dan gaya hambat (*drag*) (D) yang merupakan hasil dari penguraian resultan vektor kecepatan (W)

Gaya angkat (lift) merupakan gaya resultan yang tegak lurus terhadap arah kecepatan hulu. Gaya angkat umumnya didefinisikan dengan persamaan:

$$G = C_L \cdot \frac{\mu \cdot (\nu)^2}{2} \cdot A \qquad (1)$$

### Dimana:

 $C_L$ : Coefisien lift

 $\frac{p \cdot (1)^{\frac{2}{3}}}{2}$ : Tekanan dinamik arus bebas  $(N/m^2)$ 

A: Luas sayap (m<sup>2</sup>)

## Water Horse Power (WHP)

Water Horse Power (WHP) adalah energi yang dimiliki oleh air dalam bentuk kecepatan air yang nantinya akan dirubah menjadi energi poros.

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (V)^2 \tag{2}$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Q \cdot (V)^{2} (w \quad ) \tag{3}$$

#### Dimana:

WHP: Water Horse Power (watt)
 Q: Debit air pada pompa (m³/s)
 V: Kecepatan aliran air (m/s)
 C: Massa jenis air (kg/m³)

## Brake Horse Power (BHP)

Brake Horse Power (BHP) adalah daya yang diterima poros turbin air dari aliran fluida yang membentur sudu-sudu turbin air. Brake Horse Power (BHP) dapat diukur menggunakan neraca pegas untuk mengukur torsi pada poros turbin air.

$$B = T \cdot \omega \tag{4}$$

$$B = F \cdot l \cdot \omega (w) \tag{5}$$

dimana:

BHP: Brake Horse Power (Watt)

T: Torsi (Nm)

F : Gaya Tangensial (N)

 $\omega$ : Kecepatan sudut  $\frac{2\pi n}{6}$  (rad/s)

l : Lengan torsi (m)

## Efisiensi Turbin Air

Efisiensi turbin air merupakan perbandingan antara *Brake Horse Power* (BHP) dengan *Water Horse Power* (WHP). Efisiensi turbin air menunjukkan kemampuan turbin air untuk merubah energi air yang berupa *velocity head* menjadi energi mekanik pada putaran poros turbin air.

$$\eta = \frac{B}{W} \frac{H}{H} \frac{P}{P} \frac{(B)}{(W)} (\%) \qquad (6)$$

$$\eta = \frac{T \cdot \omega}{\frac{1}{2} \cdot P \cdot Q \cdot (V)^{\frac{1}{2}}} (\%) \qquad (7)$$

dimana:

BHP: Brake Horse Power (watt)
WHP: Water Horse Power (watt)

# METODE PENELITIAN

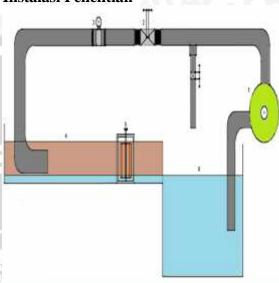
## Variabel Penelitian

1. Variabel bebas

- Variasi tinggi sudu yaitu 25 cm, 30 cm, dan 35 cm
- Debit air 50 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) 70 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) dengan selisih 5 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ).
- 2. Variabel terkontrol
  - Jumlah sudu 3 buah
  - Putaran turbin 100 rpm
  - Diameter turbin 20 cm.

- 3. Variabel terikat
  - Daya air (WHP) (Watt)
  - Daya poros (BHP) (Watt)
  - Efisiensi (%)

## Instalasi Penelitian



Gambar 3 Instalasi Penelitian

# Keterangan:

2

1 : Pompa

: Gate Valve

3 : *Magnetic Flowmeter* 

4 : Saluran Air

Turbin Air Darrieus

: Reservoir

### **Prosedur Penelitian**

Berikut adalah metode

pengambilan data yang akan dilakukan:

- 1. Mempersiapkan alat, bahan, serta instalasi penelitian dan alat bantu yang diperlukan dalam penelitian.
- 2. Melakukan *dry run* untuk memastikan instalasi dalam kondisi baik dan siap digunakan.
- 3. Memasang turbin air darrieus jumlah sudu 3 pada instalasi.
- 4. Meyalakan pompa, kemudian membuka katup saluran pengalir secara perlahan sampai debit air konstan sebesar 50 m³/jam
- Menunggu sampai poros turbin air mencapai putaran maksimum tanpa adanya pembebanan pada turbin air kemudian ambil datanya.

- 6. Mengatur putaran turbin air dengan memberikan pembebanan pada poros hingga mencapai putaran 100 rpm.
- 7. Mengambil data gaya pembebanan pada debit 50 m³/jam dengan putaran poros turbin air sebesar 100 rpm.
- 8. Mengulangi langkah no. 4, 5, 6 dan 7 untuk debit air 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85 dan 90 m<sup>3</sup>/h.
- 9. Matikan pompa.
- 10. Mengulangi langkah no. 3 sampai 9 untuk turbin air darrieus dengan variasi tinggi turbin 30 cm dan 35 cm.
- 11. Percobaan selesai.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah data hasil pengolahan data dari masing-masing variasi tinggi sudu turbin air darrieus

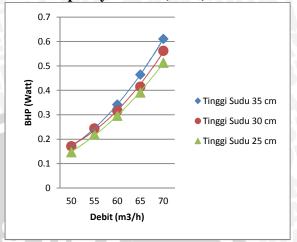
Tabel 4.1 BHP variasi tinggi sudu turbin

Debit	Tinggi 35 cm	Tinggi 30 cm	Tinggi 25 cm
m³/h	BHP (watt)	BHP (watt)	BHP (watt)
50	0.17	0.17	0.15
55	0.24	0.24	0.22
60	0.34	0.32	0.30
65	0.46	0.42	0.39
70	0.61	0.56	0.51

Tabel 4.2 Efisiensi variasi tinggi sudu turbin

Debit	Tinggi 35 cm	Tinggi 30 cm	Tinggi 25 cm
m³/h	Efisiensi (%)	Efisiensi (%)	Efisiensi (%)
50	22.51	22.51	19.30
55	24.16	24.16	21.75
60	26.06	21.19	22.52
65	27.81	24.88	23.42
70	29.30	26.96	24.61

# Hubungan Antara Debit Air (Q) terhadap Daya Poros (BHP)



Gambar 4 Grafik Hubungan antara Debit Air (Q) terhadap Daya Poros (BHP) pada Variasi Tinggi Sudu Turbin Air Darrieus

Pada gambar 4 menunjukkan bahwa pada turbin dengan tinggi sudu 25 cm dihasilkan daya poros (BHP) terendah pada debit 50 m³/jam yaitu sebesar 0,15 watt dan daya poros (BHP) terbesar pada debit 70 m<sup>3</sup>/jam sebesar 0,51 watt. Kemudian pada turbin dengan tinggi sudu 30 cm dihasilkan daya poros (BHP) terendah pada debit 50 m<sup>3</sup>/jam yaitu sebesar 0,17 watt dan daya poros (BHP) terbesar pada debit 70 m<sup>3</sup>/jam yaitu sebesar 0,56 watt. Sedangkan pada turbin dengan tinggi sudu 35 cm dihasilkan daya poros (BHP) terendah pada debit 50 m<sup>3</sup>/jam yaitu sebesar 0,17 watt dan daya poros (BHP) terbesar pada debit 70 m<sup>3</sup>/jam yaitu sebesar 0,61 watt. Dari grafik juga terlihat bahwa urutan besar nilai daya poros (BHP) turbin air darrieus dari yang terendah hingga tertinggi yaitu dari variasi turbin dengan tinggi sudu 25 cm, tinggi sudu 30 cm dan tinggi sudu 35 cm.

Pada grafik terlihat bahwa semakin bertambahnya debit air (Q) maka daya poros yang dihasilkan juga semakin bertambah pula. Hal ini terjadi karena pertambahan debit air (Q) diiringi oleh kecepatan aliran (V) yang meningkat akan menyebabkan semakin besar momentum air yang menumbuk turbin tersebut, maka terjadi perbedaan tekanan antara bagian depan sudu dan bagian belakang sudu yang meningkat sehingga gaya dorong yang dihasilkan semakin meningkat pula, dimana gaya dorong berbanding lurus dengan torsi.

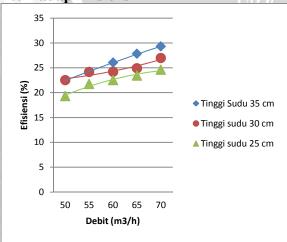
$$T = F \cdot R$$

Dari persamaan diatas kita dapat melihat bahwa semakin meningkatnya gaya maka akan mengakibatkan torsinya meningkat juga. Sehingga dengan semakin meningkatnya nilai torsi maka akan meningkatkan nilai BHP.

$$BHP = .T$$

Pada grafik juga terlihat bahwa tinggi sudu berpengaruh terhadap daya poros (BHP), semakin tinggi sudu turbin maka semakin besar pula nilai daya poros (BHP) turbin. Hal ini terjadi dikarenakan pada turbin dengan tinggi sudu 35 cm memiliki bidang sudu yang lebih luas daripada turbin dengan tinggi sudu 30 cm dan 25 cm. Sehingga semakin luas bidang sudu maka gaya dorong yang bekerja pada sudu akan menjadi besar sehingga mengakibatkan nilai torsi pada poros turbin menjadi semakin tinggi.

Hubungan antara Debit Air (Q) terhadap Efisiensi



Gambar 5 Grafik Hubungan antara Debit Air (Q) terhadap Efisiensi Turbin Air Darrieus pada Variasi Tinggi Sudu

Pada gambar 5 menunjukkan bahwa pada turbin dengan tinggi sudu 25 cm memiliki efisiensi terendah pada debit air 50 m<sup>3</sup>/jam yaitu sebesar 19,30 % dan efisiensi tertinggi pada debit air 70 m<sup>3</sup>/jam yaitu sebesar 24,61 %. Pada turbin dengan tinggi sudu 30 cm memiliki efisiensi terendah pada debit air 50 m<sup>3</sup>/jam yaitu sebesar 22,51 % dan efisiensi tertinggi pada debit air 70 m<sup>3</sup>/jam yaitu sebesar 26,96 %. Sedangkan pada turbin dengan tinggi sudu 35 cm memiliki efisiensi terendah pada debit air 50 m<sup>3</sup>/jam yaitu sebesar 22,51 % dan efisiensi tertinggi pada debit air 70 m<sup>3</sup>/jam yaitu sebesar 29,30 %. Dari grafik juga terlihat bahwa urutan besar nilai efisiensi dari yang terendah hingga tertinggi yaitu dari variasi turbin dengan tinggi sudu 25 cm, tinggi sud 30 cm dan tinggi sudu 35 cm.

Pada grafik terlihat bahwa semakin meningkat debit air (Q) maka efisiensi yang dihasilkan semakin bertambah pula. Hal ini terjadi karena semakin meningkatnya debit air (Q) maka akan menyebabkan nilai daya poros (BHP) semakin meningkat, seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan grafik Sehingga terjadinya peningkatan daya poros (BHP) akan menyebabkan efisiensi turbin yang dihasilkan menjadi semakin meningkat. Hal ini dengan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{B}{W} \frac{H}{H} \frac{P}{P} \frac{(B)}{(W)} (\%)$$

Pada grafik juga terlihat bahwa tinggi sudu berpengaruh terhadap efisiensi. Semakin tinggi sudu turbin maka semakin besar pula nilai efisiensi turbin. Hal ini terjadi dikarenakan pada turbin dengan tinggi sudu 35 cm memiliki bidang sudu yang lebih luas daripada turbin dengan tinggi sudu 30 cm dan 25 cm. Sehingga semakin luas bidang sudu maka gaya dorong yang bekerja pada sudu akan menjadi besar sehingga

nilai torsi menjadi mengakibatkan semakin tinggi dan menyebabkan daya poros (BHP) meningkat. Peningkatan nilai daya poros (BHP) turbin akan menyebabkan efisiensi turbin juga semakin meningkat.

#### KESIMPULAN

- Semakin besar debit air (Q) maka nilai Brake Horse Power (BHP) semakin meningkat.
- Semakin besar debit air (Q) maka nilai efisiensi turbin semakin meningkat.
- Nilai Brake Horse Power (BHP) tertinggi didapat pada turbin dengan tinggi sudu 35 cm sebesar 0,61 watt kemudian pada turbin dengan tinggi sudu 30 cm sebesar 0,56 watt dan pada turbin dengan tinggi sudu 25 cm sebesar 0,51 watt.
- 4. Nilai efisiensi tertinggi didapat pada turbin dengan tinggi sudu 35 cm sebesar 29,30 % kemudian pada turbin dengan tinggi sudu 30 cm sebesar 26,96 % dan pada turbin dengan tinggi sudu 25 cm sebesar 24,61 %.

### DAFTAR PUSTAKA

- Mulyantono, Tonny. 2005. Agus Penggunaan Energi Alternatif untuk Tenaga Listrik. PLN. Bandung
- Dietzel F. 1996. Turbin Pompa dan Kompresor. Jakarta: Erlangga.
- Fox, Robert W. and McDonald Alan T. 1994. Introduction to Fluid Mechanics. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Irsyad M. 2010. Kinerja turbin air tipe darrieus dengan sudu hydrofoil standar NACA 6512. Lampung: Universitas Lampung.
- Kuncoro, Darojatun. 2012. Simulasi Perhitungan Torsi, Daya dan Efisiensi Turbin Darrieus pada Hydrofoil NACA 0012 Karakteristik CL dan CD Hasil

- Simulasi Fluent. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Prasetyo, Riangga Aji. 2011. Pengaruh Variasi Tinggi Sudu terhadap Performansi Vertical Axis Wind Turbine Jenis Savonius Type-U. Malang: Universitas Brawijaya.
- Ramadhan, Lukman. 2014. Pengaruh Variasi Tinggi Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Lengkung Overshot. Malang: Universitas Brawijaya.
- Trifiananto, M. 2012. Pengaruh Panjang Bilah terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Tipe Bilah Bersirip. Malang: Universitas Brawijaya.
- White, Frank M.;1986: Fluid Mechanics; McGraw Hill Book Company, New York.
- Zahir, Kadir . 2010. Pengaruh Tinggi Sudu Kincir air Terhadap Daya dan Efisiensi yang dihasilkan. Palembang: Universitas Sriwijaya