

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

**Richard (2013)**, telah melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah sudu terhadap optimalisasi kinerja turbin kinetik roda tunggal. Penelitian dilakukan dengan studi eksperimental menggunakan roda jalan berdiameter 80 mm, panjang 130 mm, variasi jumlah sudu 18, 20, dan 22 buah dengan ketebalan sudu 2 mm. Ketinggian muka air/head yang digunakan pada pengujian adalah 2,5 m. Putaran roda jalan diukur menggunakan tachometer, daya keluaran diukur menggunakan powermeter dan torsi turbin diukur dengan torsimeter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi terjadi pada pengujian dengan tinggi muka air/head turbin 2,5 m, ketebalan sudu 2 mm dan jumlah sudu 20 buah sebesar 76 %. Daya yang dibangkitkan generator terbesar pada ketinggian turbin 2,5 m, jumlah sudu 20 buah sebesar 191 watt.

**Gusti (2013)**, telah melakukan penelitian tentang perbandingan jumlah sudu dan gap pada turbin air Savonis sumbu vertikal. Pada penelitian tersebut digunakan tiga variasi sudu, yaitu 2 sudu, 3 sudu, dan 4 sudu. Dari hasil pengujian diperoleh daya uji tertinggi sebesar 3,908546 W pada kecepatan 1,4 m/s yang dihasilkan oleh turbin sudu 4 dengan gap 2 cm. Turbin Savonius yang dirancang memiliki diameter piringan 42 cm, tinggi sudu 24 cm, diameter poros 1 cm. Profil sudu berbentuk setengah tabung, dengan menggunakan bahan paralon. Sedangkan piringan dan poros menggunakan stainless. Pengujian dilakukan di sungai PLTA Bengkok, Dago Atas, Bandung, Jawa Barat. Pada pengujian diperoleh 5 variasi kecepatan aliran air yaitu sebesar 1,0 m/s, 1,1 m/s, 1,2 m/s, 1,3 m/s dan 1,4 m/s. Dari hasil pengujian diperoleh daya uji tertinggi sebesar 3,908546 W pada kecepatan 1,4 m/s yang dihasilkan oleh turbin sudu 4 dengan gap 2 cm. Sedangkan untuk torsi tertinggi adalah torsi yang dihasilkan oleh turbin 4 dengan gap 2 cm sebesar 0,66 N. Untuk  $C_p$  tertinggi sebesar 0,071079594 dan TSR tertinggi sebesar 0,951202293 dihasilkan juga oleh turbin sudu 4 dengan gap 2 cm.

**Agus (2011)**, telah melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah sudu roda jalan terhadap efisiensi turbin aliran silang (cross flow). Pada penelitian tersebut digunakan variasi sudu, yaitu 18 sudu, 20 sudu, dan 22 sudu untuk mengetahui berapa banyak sudu yang digunakan untuk mendapatkan efisiensi maksimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi terjadi pada pengujian dengan tinggi muka

air/head turbin 2,5 m, ketebalan sudu 2 mm dan jumlah sudu 20 buah sebesar 76 %. Daya yang dibangkitkan generator terbesar pada ketinggian turbin 2,5 m, jumlah sudu 20 buah sebesar 191 watt.

Dari beberapa penelitian sebelumnya terdapat adanya persamaan yaitu pada pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin air. Oleh karena itu perlu adanya penelitian tentang pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin air helikal agar diperoleh jumlah sudu yang ideal untuk efisiensi yang paling tinggi. Sehingga nantinya turbin tersebut diharapkan dapat digunakan sebagai pembangkit listrik mikrohidro dengan optimal.

Soenoko pada tahun 1992 menyarankan tentang desain turbin aliran silang bahwa untuk meningkatkan unjuk kerja adalah dengan merubah konstruksi pipa pancar, posisi kedudukan pipa pancar dan jumlah sudu yang ditumbuk oleh jet. Selanjutnya pada penelitian berikutnya Soenoko (1997) mengadakan optimasi pada rancangan dengan mengatur arah pipa pancar dan diteruskan dengan eksperimen pada model diperoleh unjuk kerja yang lebih baik.

## 2.2 Potensi Tenaga Air

Sebagai negara Maritim, Indonesia mempunyai banyak sekali potensi tenaga air yang bisa dimanfaatkan sehingga dapat mengurangi ketergantungannya terhadap bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil memiliki dampak yang buruk bagi lingkungan. Gas sisa dari hasil pembakaran bahan bakar fosil bisa menimbulkan efek rumah kaca yang berdampak buruk bagi iklim dunia. Pemanfaatan air sebagai sumber energi terbarukan dan sebagai sumber energi yang bersih tidak menimbulkan kerusakan ekosistem lingkungan. Potensi tenaga air yang dapat dimanfaatkan antara lain dari kolam reservoir, aliran sungai dan arus bolak-balik air laut (tidal).

Dalam suatu aliran air tersimpan energi yang dapat digunakan dan dimanfaatkan dengan cara mengubahnya ataupun menggunakannya secara langsung. Salah satunya adalah dengan pemanfaatannya dalam bidang energi sebagai pembangkit energi listrik. Energi potensial adalah energi yang dimiliki air karena adanya beda ketinggian atau elevasi, dan energi kinetik adalah energi yang dimiliki oleh air karena adanya kecepatan aliran air. Energi listrik dapat dibangkitkan atau dihasilkan dari merubah energi yang dimiliki air (energi potensial dan energi kinetik) untuk memutar turbin air dan menghasilkan energi mekanik pada poros. Energi mekanik tersebut disambungkan pada generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Dari sebuah sumber air dapat didefinisikan besarnya energi yang tersimpan bergantung pada head dan debit air. Yang mana head merupakan beda ketinggian anantara permukaan air pada reservoir (bendungan) dengan muka air keluar dari turbin air. Sedangkan debit adalah banyaknya jumlah air dalam volume per satuan waktu. Total energi yang dimiliki oleh air karena adanya beda ketinggian dapat dihitung dengan cara :

$$E = m \cdot g \cdot h \quad (2-1)$$

dengan :

- E : Energi potensial (N.m)  
 M : Massa air (kg)  
 h : Head (m)  
 g : Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

Definisi dari daya merupakan energi tiap satuan waktu ( $E/t$ ), sehingga dari persamaan diatas dapat dirubah menjadi :

$$\frac{E}{t} = \frac{m}{t} \cdot g \cdot h \quad (2-2)$$

Dengan mensubtitusikan P terhadap  $E/t$  dan  $\rho Q$  terhadap  $m/t$  maka :

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \quad (2-3)$$

dengan :

- P : Daya potensial air (watt)  
 Q : Debit aliran air ( $m^3/s$ )  
 $\rho$  : Densitas air ( $kg/m^3$ )

Selain energi energi potensial pada air yang disebabkan karena adanya beda ketinggian, juga terdapat energi kinetik yang disebabkan karena adanya kecepatan pada aliran air, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2-4)$$

dengan :

$v$  : kecepatan aliran air ( $\text{m/s}^2$ )

Hubungan energi kinetik dengan daya yang dihasilkan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{2} \rho Q v^2 \quad (2-5)$$

Hal ini sesuai dengan persamaan hukum kontinuitas  $Q = A v$  ; maka :

$$P = \frac{1}{2} \rho (Av) v^2 \quad (2-6)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2-7)$$

dengan :

$A$  : luas penampang aliran air ( $\text{m}^2$ )

### 2.2.1 Arus Tidal

Arus *tidal* adalah arus bolak-balik yang disebabkan pasang-surut air laut. Di Indonesia energi tersebut belum banyak dimanfaatkan dengan optimal. Tarikan gravitasi Matahari dan Bulan di lautan menghasilkan kenaikan tinggi permukaan laut. Wilayah di dunia dengan rentang pasang surut besar dan geometri pantai dapat melihat arus pasang surut yang signifikan yang terjadi pada interval yang dapat diprediksi. Beberapa energi dalam aliran ini dapat diekstraksi oleh turbin arus lintang (*crossflow*), dengan prinsip kerja yang mirip dengan turbin angin. Air adalah fluida dengan karakteristik 1000 kali lebih padat daripada udara, dan kekuatan dalam air secara proporsional lebih besar dari kekuatan angin. Selain itu, arus pasang surut yang dapat diprediksi merupakan atribut kunci yang sering hilang dari sumber energi terbarukan lainnya seperti angin dan energi surya. Energi pasang surut memiliki tiga hambatan utama untuk pembangunan berskala. Pertama adalah batas sumber daya, situs dengan kecepatan arus besar relatif jarang di seluruh dunia, dan karena kekuatan arus lambat pasang surut tidak cocok untuk ekstraksi energi. Yang kedua adalah sifat yang sangat keras dari lingkungan operasi. Korosi, *biofouling*, kurangnya akses mudah ke turbin. Hambatan ketiga untuk

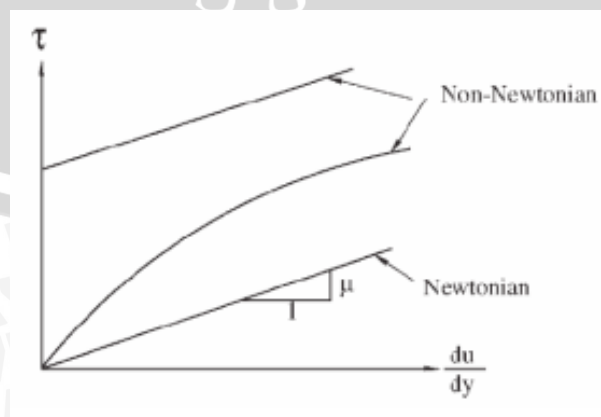
pengembangan adalah kurangnya pengetahuan tentang proyek lingkungan energi pasang surut. Area sumber daya pasang surut kualitas tinggi seringkali merupakan ekosistem laut sensitif yang sangat dilindungi.

Turbin air helikal mempunyai konstruksi yang cocok untuk digunakan dalam pembangkit listrik arus *tidal*. Desain turbin air helikal memungkinkan untuk dapat menerima aliran air dari segala arah yang tegak lurus dengan porosnya, sehingga turbin ini mempunyai efisiensi tertinggi dalam pemanfaatan arus *tidal* hingga 35%.

### 2.3 Fluida

Fluida adalah suatu zat yang akan mengalami deformasi secara kontinu (terus-menerus) karena menerima gaya geser. Pada benda padat, gaya geser akan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk atau deformasi, yang tidak berubah besarnya selama gaya yang bekerja ini besarnya tetap. Akan tetapi baik fluida viskos maupun encer akan mengalami pergerakan antara satu bagian terhadap bagian lainnya bila ada gaya geser yang bekerja padanya. Jadi dapat dikatakan bahwa suatu fluida tidak dapat menahan gaya geser.

Fluida diklasifikasikan sebagai fluida *Newtonian* dan *non-Newtonian*. Dalam fluida *Newtonian* terdapat hubungan linear antara besarnya tegangan geser yang diterapkan dan laju perubahan bentuk yang diakibatkan. Namun, apabila hubungannya tak linear maka disebut *non-Newtonian*. Gas dan cairan encer cenderung bersifat fluida *Newtonian* sedangkan hidrokarbon berantai panjang yang kental mungkin bersifat *non-Newtonian*. Grafik pada Gambar 2.2 di bawah ini menunjukkan perbandingan antara tegangan geser dan viskositas pada fluida *Newtonian* dan fluida *Non-Newtonian*.



Gambar 2.1 Grafik Fluida *Newtonian* dan *non-Newtonian*  
Sumber : *Anonymus 1*

Pada penelitian ini fluida yang akan digunakan adalah air dengan massa jenis  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ .

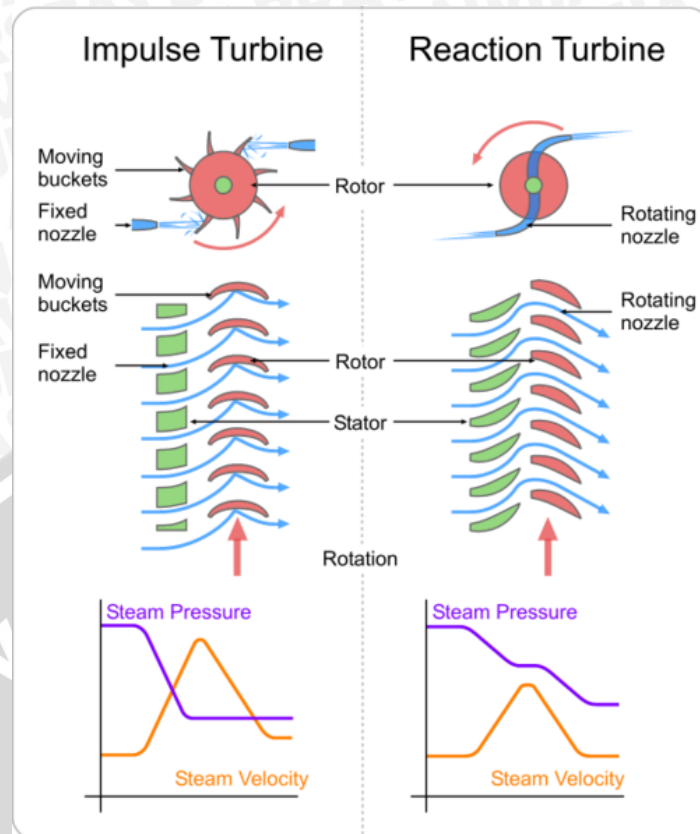
#### **2.4 Turbin Air**

Turbin air adalah mesin konversi energi yang berfungsi untuk mengubah bentuk energi potensial (head) yang dimiliki air menjadi bentuk energi mekanik pada putaran poros turbin dengan air sebagai fluida kerjanya. Ada berbagai macam jenis turbin air, tapi pada dasarnya dikelompokkan menjadi 2 jenis berdasarkan prinsip kerjanya yaitu turbin reaksi dan turbin impuls. Turbin air memiliki bagian antara lain sudu yang digunakan sebagai alat konversi energi dan poros turbin yang berfungsi menyalurkan energi dari aliran air menjadi gerak rotasi.

Energi yang tersimpan dari aliran air tersebut menumbuk dan ditangkap oleh sudu turbin yang kemudian terhubung ke poros turbin dan bergerak berputar karena adanya kecepatan dari fluida. Putaran yang dihasilkan poros turbin tersebut dapat dimanfaatkan dengan cara menghubungkannya dengan generator listrik sehingga menghasilkan energi listrik.

#### **2.5 Klasifikasi Turbin Air**

Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air digunakan untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis dengan menggunakan air sebagai fluida kerja. Energi mekanis dari poros diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Ada berbagai macam turbin air yang digunakan untuk mengekstraksi energi air, hal ini menyesuaikan dengan bentuk tempat dan kondisi dari tempat turbin air akan dipasang dan kebutuhan daya yang diperlukan. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.



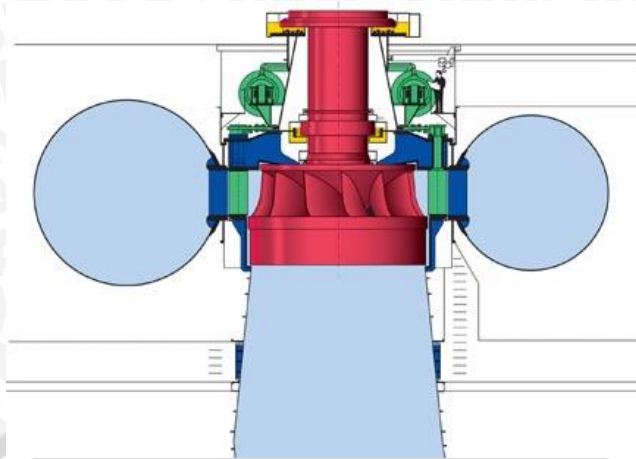
Gambar 2.2 Turbin Reaksi dan Turbin Impuls  
Sumber : *Anonymous 2*

### 2.5.1 Turbin Reaksi

Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. Runner turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin.

#### 2.5.1.1 Turbin Francis

Turbin Francis merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada Turbin Francis dapat merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Untuk penggunaan pada berbagai kondisi aliran air penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat.



Gambar 2.3 Turbin Francis  
Sumber : *Anonymous 3*

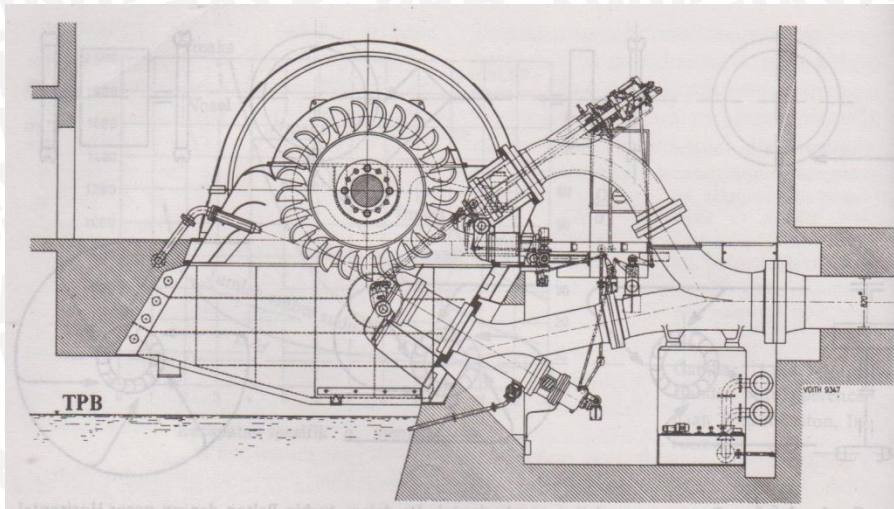
### 2.5.2 Turbin Impuls

Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nosel. Air keluar nosel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls). Akibatnya roda turbin akan berputar. Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nosel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan.

#### 2.5.2.1 Turbin Pelton

Turbin Pelton merupakan turbin impuls. Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nosel. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk head tinggi.





Gambar 2.4 Turbin Pelton  
Sumber: Fritz, Dietzel (1996:30)

Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping. Untuk turbin dengan daya yang besar, sistem penyemprotan airnya dibagi lewat beberapa nosel. Dengan demikian diameter pancaran air bisa diperkecil dan ember sudu lebih kecil. Turbin Pelton untuk pembangkit skala besar membutuhkan head lebih kurang 150 meter tetapi untuk skala mikro head 20 meter sudah mencukupi.

## 2.6 Turbin Helikal (Gorlov)

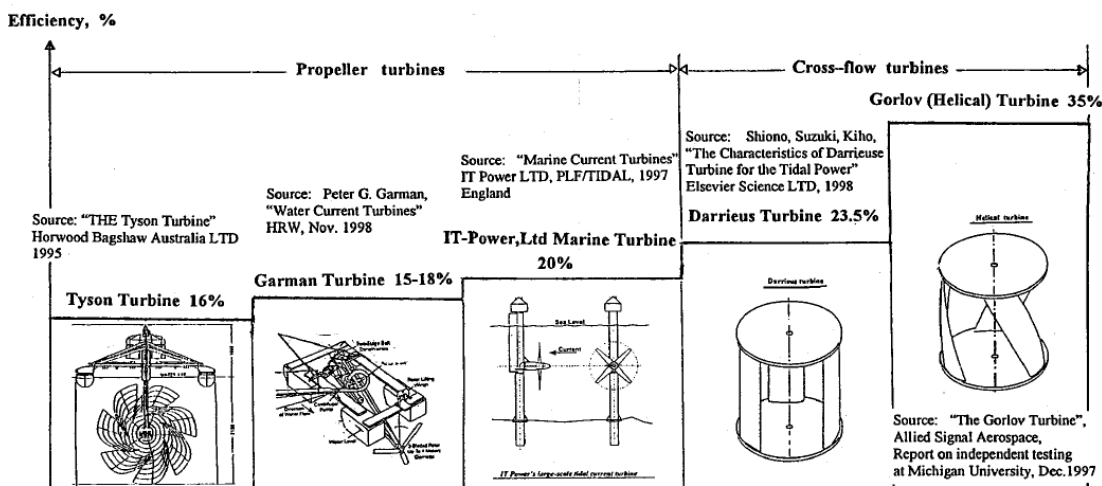
Turbin Helikal Gorlov adalah jenis turbin yang baru dikembangkan pada tahun 1995 yang merupakan pengembangan dari turbin Darrieus, merubah energi kinetik yang dihasilkan oleh arus aliran menjadi energi mekanis/gerak putar, di temukan oleh Profesor Alexander M. Gorlov dari Northeastern University dan salah satunya telah di gunakan sebagai pembangkit listrik memanfaatkan air pasang surut di pedesaan Amazon-Brasil, jenis turbin ini diperuntukan untuk energy arus sungai (river energy), energy arus laut (marine energy) dan energy arus pasang-surut (tidal energy).



Gambar 2.5 Turbin Helikal (Gorlov)

Sumber : *Anonymous* 4

Dalam upaya pemanfaatan energi arus pasang-surut (*tidal energy*) telah dikembangkan berbagai jenis turbin dan efisiensi kerja yang dihasilkan (gambar 2.7). Dikenal 2 macam jenis turbin yaitu : 1) *propeller turbine* dan 2) *cross flow turbine*. *Propeller turbine* dengan sifat yang non-reversible sangat sulit untuk berputar terhadap perubahan arah aliran (pasang-surut) namun sebaliknya pada jenis *cross flow turbine* dapat menyesuaikan kondisi tersebut dengan cepat, disamping itu turbin tipe aliran silang (*cross flow turbine*) memiliki efisiensi yang lebih baik dibanding propeller turbine. [Gorban, 2001]. Turbin jenis aliran silang terdapat dua tipe yaitu a) *Darrieus turbine* dan; b) *Gorlov (helical) turbine*. Tipe *Darrieus turbine* memiliki sejumlah kelemahan dibanding *Gorlov (helical) turbine*, turbin tipe *Darrieus* pada saat operasi memiliki denyutan yang kuat dan dalam banyak kasus turbin tidak dapat memulai putarannya sendiri. Kemudian dikembangkan turbin helikal yang memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan karakteristik kerja yang lebih baik. Turbin helikal memiliki efisiensi 11.5 % lebih besar dari efisiensi yang dihasilkan turbin *Darrieus*.



Gambar 2.6 Jenis Turbin dan Efisiensi (%)

Sumber : Gorban, A.N., Gorlov, A.M., Silantyev V.M., 2001, *Limits of the Turbine Efficiency for Free Fluid Flow Journal of Energy Resources Technology*

Turbin air helikal mempunyai kelebihan dalam kemudahan untuk memulai putaran awal (starting point) dengan sendirinya yang disebabkan karena adanya airfoil pada tiap derajat putar turbin. Dan juga dapat menerima aliran horizontal dari segala arah dikarenakan bentuk dari konstruksi turbin itu sendiri, sehingga dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga pasang-surut yang mempunyai arah aliran air bolak-balik.

## 2.7 Prinsip Kerja Turbin Air Helikal

Turbin air helikal menggunakan sudu berbentuk airfoil dengan arah melintang dengan besar sudut tertentu. Sudu tersebut berguna untuk merubah energi dari aliran air yang bergerak menumbuk sudu turbin yang kemudian dirubah menjadi energi gerak pada putaran poros turbin. Aliran air yang menumbuk sudu dapat digambarkan dalam diagram kecepatan yang akan dijelaskan pada sub-bab berikutnya.

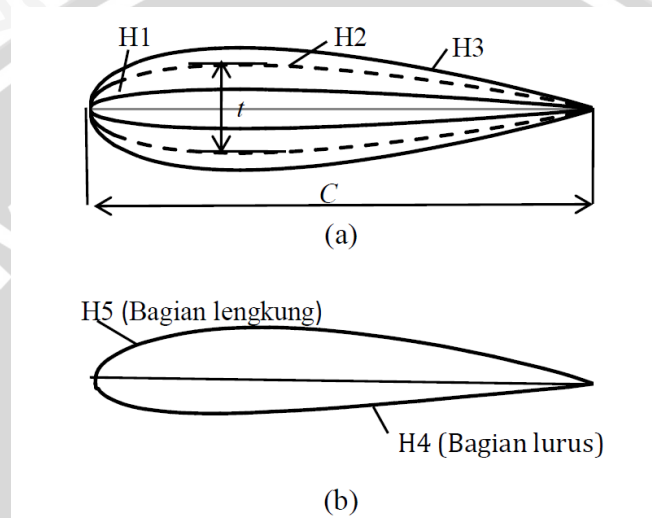
Sudu pada turbin air helikal ini sangat berpengaruh dalam kinerja turbin, sehingga perlu diadakannya penelitian lebih lanjut mengenai pengembangan sudu agar didapatkan nilai efisiensi kerja yang maksimal dari turbin air helikal.

### 2.7.1 Airfoil

Airfoil adalah sebuah bentuk yang menyerupai sayap burung (pipih), dengan bagian depan tumpul. Airfoil ini biasanya di gunakan dalam pembuatan sayap pesawat sehingga menghasilkan gaya angkat (*lift*) yang memungkinkan pesawat dapat terbang

ke udara. Hal inilah yang menyebabkan pengurangan gesekan sehingga dapat meningkatkan kecepatan.

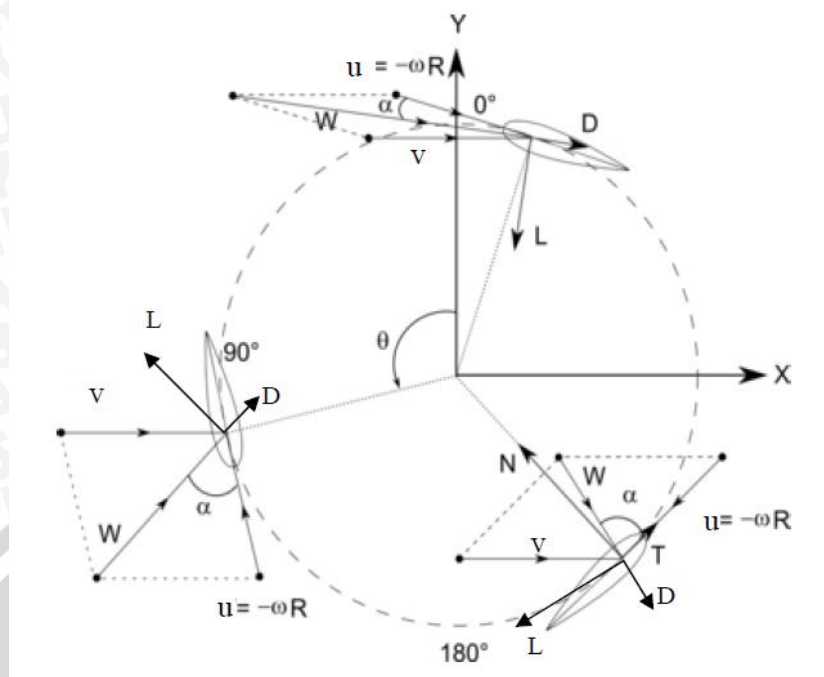
Untuk airfoil yang digunakan pada turbin air helikal dalam penelitian ini menggunakan standar NACA 0018. Untuk profil airfoil pada turbin air helikal biasanya digunakan profil airfoil yang simetris, yaitu profil dengan dua digit pertama adalah 00. Telah dilakukan percobaan untuk menggunakan profil yang tidak simetris dan hasilnya sangatlah kurang baik bahkan turbin sulit untuk berputar.



Gambar 2.7 Sudu Airfoil Simetris dan Tak-Simetris  
Sumber : Kaprawi, 2011

### 2.7.2 Diagram Kecepatan

Diagram kecepatan yang di gunakan pada turbin air sumbu vertikal merupakan pendekatan dari turbin udara sumbu vertikal seperti yang terlihat pada gambar 2.7. Dimana resultan vektor kecepatan ( $W$ ) merupakan resultan dari vektor kecepatan ( $v$ ) fluida dan vektor kecepatan sudu ( $u$ ) [Ardianto ; 2008].



Gambar 2.8 Diagram Kecepatan pada Turbin Sumbu Vertikal  
Sumber : Muhammad Irsyad, 2010

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 ( $\omega \cdot r$ ).
- Resultan kecepatan ( $W$ ) yang merupakan hasil dari penjumlahan vektor kecepatan ( $v$ ) dan vektor kecepatan ( $u$ ).
- Sudut rotasi sudu ( $\theta$ ) yang merupakan posisi derajat putar sudu.
- Sudut serang (*angle of attack*) ( $\alpha$ ).
- Gaya angkat (*lift*) ( $L$ ) dan gaya hambat (*drag*) ( $D$ ) yang merupakan hasil dari penguraian resultan vektor kecepatan ( $W$ ).

Dari gambar diagram kecepatan tersebut dihasilkan kecepatan yang bervariasi yaitu kecepatan maksimum pada  $\theta = 0^\circ$  sedangkan kecepatan minimum pada  $\theta = 180^\circ$ , dimana  $\theta$  adalah posisi orbital sudu.

## 2.8 Hambatan dan Gaya Angkat

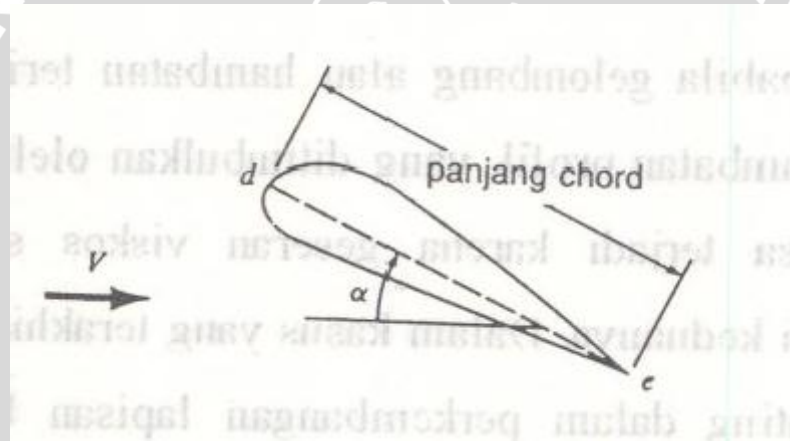
### 2.8.1 Hambatan

Hambatan yang terjadi pada aliran fluida menyebabkan terjadinya gaya-gaya yang bekerja pada suatu benda yang terbenam dalam fluida yang diakibatkan adanya

tekanan dan geseran viskous. Pada bagian permukaan benda yang mempunyai luas, gaya tekanan mempunyai arah normal terhadap bagian itu sedangkan gaya geseran viskous sejajar atau menyinggung bagian tersebut. Komponen gaya-gaya ini yang searah dengan arah gerak fluida apabila dijumlahkan untuk keseluruhan permukaan benda akan menghasilkan hambatan profil atau hambatan bentuk.

Komponen-komponen gaya akibat tekanan atau gesekan viskous diambil dalam arah normal fluida terhadap benda dan dijumlahkan untuk keseluruhan permukaan benda, gaya yang dihasilkan disebut gaya angkat (*lift*). Pada airfoil, gaya angkat ini juga menimbulkan gaya hambatan yang disebut hambatan terinduksi.

Gaya angkat fluida biasanya berhubungan dengan airfoil dengan adanya sudut terjang (*angle of attack*)  $\alpha$  bermacam-macam terhadap arus yang datang, luas karakteristik gaya angkat merupakan luas *chord*, yaitu panjang dikali lebar airfoil bukannya luas yang sejajar dengan arus yang datang.



Gambar 2.9 Definisi Skema Luas Gaya Hambat dan Gaya Angkat pada Airfoil pada Sudut Terjang Tertentu  
Sumber : Ridwan (1999:72)

### 2.8.2 Gaya Angkat

Gaya angkat untuk mengangkat bidang angkat umumnya didefinisikan dengan persamaan :

$$\text{Gaya angkat} = C_L \frac{\rho(u_s)^2}{2} A \quad (2-8)$$

dengan :

$C_L$  : Koefisien gaya angkat

$\rho(u_s)^2 / 2$  : Tekanan dinamik arus bebas ( $\text{N/m}^2$ )

$A$  : Luas *chord* bidang angkat ( $\text{m}^2$ )

Luas bidang angkat pada rumus tersebut mempunyai nilai yang berbanding lurus dengan gaya angkat yang dihasilkan pada fenomena airfoil. Pada turbin air helikal luas bidang angkat bertambah besar pula dengan bertambahnya jumlah sudu yang bekerja pada turbin air helikal. Dengan bertambah besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh turbin sehingga akan menghasilkan torsi, daya air (BHP) dan efisiensi yang semakin besar yang ditunjukkan pada rumus perhitungan pada sub-bab selanjutnya.

## 2.9 Unjuk Kerja Turbin Air

Pada pengujian kincir air ini parameter-parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui kinerja turbin air antara lain : *Water Horse Power* (WHP), *Brake Horse Power* (BHP), Rasio U/Vs, dan Efisiensi turbin air.

### 2.9.1 *Water Horse Power* (WHP)

*Water Horse Power* (WHP) merupakan daya yang dimiliki oleh air dalam bentuk *velocity head* (head turbin) yang nantinya akan diubah menjadi energi mekanik pada poros turbin air.

Aliran air memiliki komponen kecepatan, sehingga dapat dihitung dengan menggunakan rumus energi mekanik. Daya itu sendiri merupakan hasil dari energi per satuan waktu sehingga rumus yang digunakan adalah :

$$E = \frac{1}{2} m (Vs)^2 \quad (2-9)$$

$$\frac{E}{t} = \frac{\frac{1}{2} m (Vs)^2}{t} \quad (2-10)$$

$$WHP = \frac{1}{2} \rho Q (Vs)^2 (\text{watt}) \quad (2-11)$$

dengan :

WHP : *Water Horse Power* (watt)

Q : Debit air pada pompa (m<sup>3</sup>/s)

Vs<sup>2</sup> : Kecepatan aliran air (m/s)

$\rho$  : Massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

### 2.9.2 Brake Horse Power (BHP)

*Brake Horse Power* (BHP) merupakan daya yang diterima oleh poros turbin air dari aliran fluida yang melalui atau menumbuk sudu-sudu kincir air. *Brake Horse Power* (BHP) dapat diketahui dengan cara mengukur Torsi pada poros kincir air dengan rem pronny.

$$BHP = T \omega \quad (2-12)$$

$$BH\dot{p} = F l \omega \text{ (watt)} \quad (2-13)$$

dengan :

BHP : *Brake Horse Power* (Watt)

T : Torsi (Nm)

F : Gaya tangensial (N)

$\omega$  : Kecepatan sudut  $\frac{2\pi n}{60}$  (rad/s)

l : Lengan torsi (m)

### 2.9.3 Rasio U/Vs

Rasio U/Vs merupakan perbandingan antara kecepatan keliling atau kecepatan tangensial dari turbin air (U) terhadap kecepatan aliran air (Vs) pada saluran air. Rasio U/Vs ini digunakan untuk melihat kemampuan maksimum suatu turbin pada nilai berapa.

$$\frac{U}{V_s} = \frac{\omega R}{V_s} \quad (2-14)$$

dengan :

U : kecepatan keliling kincir air (m/s)

Vs : Kecepatan aliran air (m/s)

R : Radian kincir (m)

$\omega$  : Kecepatan sudut  $\frac{2\pi n}{60}$  (rad/s)



### 2.9.4 Efisiensi Turbin Air

Efisiensi kincir air merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan pada poros kincir air (BHP) dengan daya yang diberikan oleh fluida air (WHP). Efisiensi kincir air menunjukkan kemampuan dari kincir air dalam mengubah energi yang dimiliki air dalam bentuk *velocity head* menjadi energi mekanik pada putaran poros kincir. Efisiensi kincir air dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\text{Brake Horse Power (BHP)}}{\text{Water Horse Power (WHP)}} (\%) \quad (2-15)$$

$$\eta = \frac{T \omega}{\frac{1}{2} \rho A (V_s)^3} (\%) \quad (2-16)$$

dengan :

BHP : *Brake Horse Power* (Watt)

WHP : *Water Horse Power* (watt)

### 2.10 Hipotesa

Untuk debit air yang sama, semakin banyak jumlah sudu pada turbin air helikal maka semakin besar luas bidang sudu turbin sehingga nilai gaya yang dihasilkan semakin besar. Nilai tersebut berbanding lurus dengan torsi, BHP dan efisiensi turbin air helikal.