

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Wahyudi (2012), telah melakukan penelitian tentang pengaruh variasi tebal sudu pada kincir air tipe sudu datar dengan sistem aliran *overshot* di Laboratorium Mesin-Mesin Fluida Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Pada penelitian tersebut digunakan empat variasi tebal sudu pada kincir air dengan jenis aliran *overshot* tipe sudu datar yang terbuat dari kayu, yaitu 3-12 mm dengan variasi debit air (m^3/jam) yaitu sebesar 10 – 20.

Dari penelitian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa variasi tebal sudu kincir air mempunyai pengaruh terhadap daya poros dan efisiensi kincir air tipe sudu datar. Semakin tebal sudu kincir air maka daya poros yang dihasilkan juga semakin menurun dan efisiensi pun semakin menurun. Hal ini terjadi karena tebal sudu pada kincir air, semakin tebal sudu maka semakin meningkatnya gaya friksi (gaya yang berlawanan dengan arah gerakan) kincir air sehingga torsi yang dihasilkan kincir air menurun akibatnya daya poros yang dihasilkan semakin menurun. Sehingga pada debit 20 (m^3/jam) yang merupakan debit air yang terbesar, nilai dari daya poros paling besar terdapat pada tebal 3mm sebesar 3,897 Watt.

Amri (2012), telah melakukan penelitian tentang pengaruh variasi lebar sudu pada kincir air tipe sudu datar dengan sistem aliran *overshot*. Pada penelitian tersebut digunakan dua variasi lebar sudu yang terbuat dari kayu, yaitu 0,4 m dan 0,5 m dengan tinggi 0,16 m, jumlah sudu yang digunakan berjumlah 4 buah yang terdiri dari satu roda. Debit air yang digunakan pada pengujian adalah 10-20 (m^3/jam).

Dari penelitian tersebut diketahui bahwa yang memiliki efisiensi tertinggi adalah pada lebar sudu 0,4 m, dan efisiensi dipengaruhi oleh besarnya debit air, semakin tinggi debit air, maka efisiensi kincir air juga semakin tinggi pula.

Asad (2014) telah melakukan penelitian tentang pengaruh variasi besar sudut sudu pada kincir air dengan sistem aliran *overshot*. Dari penelitian tersebut didapatkan daya poros tertinggi pada sudut kelengkungan 15° dengan debit 10

m^3/jam yakni sebesar 0,20 Watt. Sedangkan daya air terbesar terdapat pada kincir air dengan sudut 5° dengan debit $10 \text{ m}^3/\text{jam}$ sebesar 1,27 Watt. Efisiensi tertinggi pada kincir air dengan sudut kelengkungan sudu 15° pada debit $2 \text{ m}^3/\text{jam}$ yakni sebesar 29,66 %.

2.2 Potensi Tenaga Air

Semakin menipisnya ketersediaan sumber daya energi yang berasal dari bahan bakar fosil akan berdampak kurang baik untuk kedepannya selain akan mencemari udara lingkungan. Pemanfaatan air sebagai energi alternatif yang dapat memenuhi kebutuhan manusia akan sumber energi harus digunakan dengan baik. Karena air merupakan salah satu contoh sumber energi yang mudah didapatkan dan ketersediaannya yang melimpah di Negara Indonesia ini.

Pada air yang mengalir tersimpan energi potensial (energi yang dimiliki air karena beda ketinggian atau elevasi) dan energi kinetik (energy yang dimiliki oleh air karena memiliki kecepatan). Salah satu pemanfaatan air dalam bidang energi adalah sebagai pembangkit energi listrik. Energi listrik yang didapat dari merubah energi yang dimiliki air (energi potensial dan energi kinetik) untuk menggerakkan kincir air atau turbin air sehingga menghasilkan energi mekanik berupa putaran poros pada kincir air maupun turbin air. Energi mekanik ini kemudian dihubungkan menuju generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Besarnya energi yang terdapat pada suatu sumber air bergantung pada besarnya *head* dan debit air. Secara umum *head* merupakan beda ketinggian antara muka air pada reservoir (bendungan) dengan muka air keluar kincir air atau turbin air. Total energi yang dimiliki suatu sumber karena letak ketinggiannya yaitu :

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

Dimana :

E : Energi potensial (N.m)

m : Massa air (kg)

h : *Head* (m)

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

Daya merupakan energi tiap satuan waktu (E/t), sehingga persamaan di atas dapat

kita ubah menjadi :

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

dengan mensubstitusikan P terhadap E/t dan ρQ terhadap m/t maka :

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

dimana :

P : Daya potensial air (watt)

Q : Debit aliran air (m³/s)

ρ : Densitas air (kg/m³)

selain energi yang terdapat dalam air karena beda ketinggian (potensial), terdapat pula energi yang dimiliki karena aliran air tersebut memiliki kecepatan, atau yang sering kita sebut sebagai energi kinetik, dengan persamaan sebagai berikut :

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

dimana :

v : Kecepatan aliran air (m/s²)

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 :

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

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

dimana :

A : Luas penampang aliran air (m²)

2.3 Mesin-Mesin Fluida

Mesin-mesin fluida merupakan mesin-mesin yang berfungsi untuk mengkonversi energi mekanis energi fluida kerja (energi potensial dan energi kinetik) atau sebaliknya mengkonversi energi yang terdapat pada fluida kerja (energi potensial dan energi kinetik) menjadi energi mekanis. Mesin-mesin fluida secara umum terdiri dari dua kelompok utama, yaitu:

1. Mesin Kerja

Mesin kerja merupakan mesin fluida yang mengkonversi energi mekanis menjadi energi fluida, contohnya: pompa, kompresor, fan, blower, dan lain-lain.

2. Mesin Tenaga

Mesin tenaga merupakan mesin fluida yang mengkonversi energi pada fluida menjadi energi mekanis pada poros, misalnya: turbin air, kincir air, turbin uap, dan lain-lain.

2.4 Turbin Air

2.4.1 Definisi Turbin Air

Turbin air adalah mesin konversi energi yang berfungsi untuk mengubah bentuk energi potensial (head) yang dimiliki air ke bentuk energi mekanik pada poros turbin. Energi tersebut dapat bermanfaat untuk kita dengan jalan mengubahnya menjadi energi kinetik secara perlahan-lahan dengan cara mengalirkannya ke tempat yang lebih rendah. Energi yang terbentuk digunakan untuk memutar poros pada turbin yang selanjutnya dihubungkan pada generator untuk dikonversikan menjadi energi listrik.

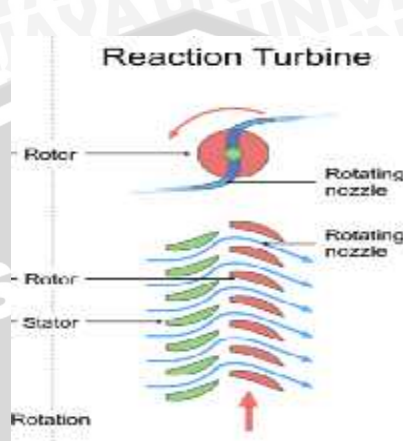
2.4.2 Klasifikasi Turbin Air

berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial yang dimiliki air menjadi energi mekanis, turbin air dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan reaksi.

2.4.2.1 Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Turbin jenis ini adalah turbin yang paling banyak digunakan. 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. Runner turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin.

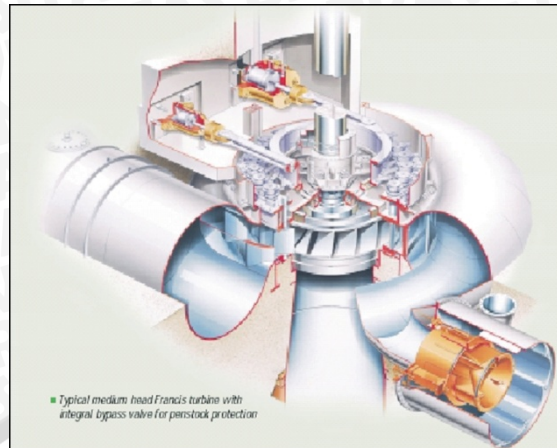


Gambar 2.1 : Turbin Reaksi
Sumber : gunawananeva.wordpress.com, 2013

Jenis-jenis Turbin reaksi antara lain :

1. Turbin Francis

Turbin francis digunakan untuk berbagai keperluan dengan tinggi terjun menengah (medium head). Turbin francis memiliki 3 bagian utama yaitu runner, guide vane, dan rumah turbin (casing). Runner turbin dari poros dan sudu turbin. Guide vane serupa dengan sudu turbin yang berfungsi untuk mengarahkan aliran air. Turbin francis bekerja dengan memakai proses tekanan lebih saat air masuk ke roda jalan. Sebagian head yang ada pada sudu pengarah diubah sebagai kecepatan arus masuk jika energi head dimanfaatkan pada sudu jalan. Pada saat runner terdapat tekanan yang rendah (kurang dari 1 atm) dan kecepatan aliran yang tinggi dalam pipa akan berkurang. Turbin francis digunakan pada head menengah dan putaran operasinya tidak terlalu tinggi. Turbin francis dapat dioperasikan pada lebih dari 50% efisiensi terbaiknya. Di bawah 40% yang menyatakan efisiensi yang rendah menyebabkan operasinya tidak stabil dan kasar.

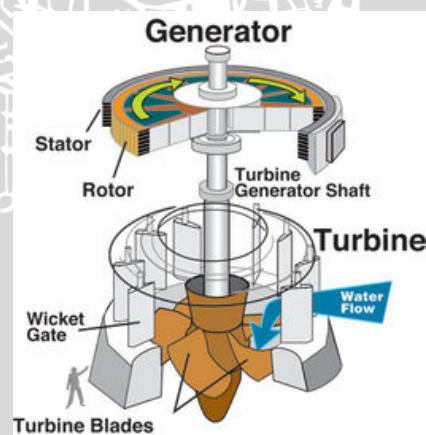


Gambar 2.2 : Turbin Francis

Sumber : greybullvalleyhydropower.blogspot.com, 2013

2. Turbin Kaplan

Turbin ini mempunyai roda jalan yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang. Bila baling-baling pesawat terbang berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong, roda jalan pada kaplan berfungsi untuk menghasilkan gaya F yaitu gaya putar yang bisa menghasilkan torsi pada poros turbin. Berbeda dengan roda jalan pada francis, sudu-sudu pada roda jalan dapat diatur posisinya untuk menyelesaikan kondisi beban turbin. Turbin ini digunakan untuk head air yang rendah, yaitu di bawah 20 meter.

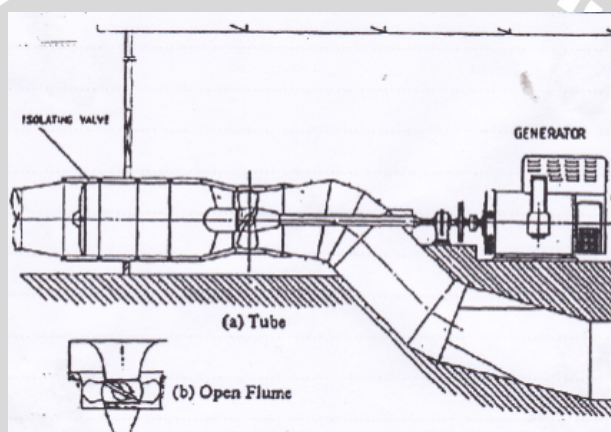


Gambar 2.3 : Turbin Air Kaplan

Sumber : Anonymus 12: 2012

3. Turbin Proppeler

Turbin propeller dapat dipasang pada posisi poros horizontal maupun vertikal. Turbin ini mempunyai 3 bagian utama yaitu runner, guide vane, rumah turbin (casing). Pada prinsipnya, turbin ini mirip dengan turbin francis hanya terdapat perbedaan pada sudu runner dan poros serta hubungannya. Turbin ini digunakan untuk pemanfaatan potensio hidro yang dimiliki head rendah hingga menengah dengan kapasitas aliran besar dan putaran operasi tidak terlalu tinggi antara 1,5 -60 m. Akan tetapi, turbin ini sering digunakan pada head yang kurang dari 30 m. Batas pengoperasian turbin ini adalah 75% - 95 % dari efisiensi terbaiknya.

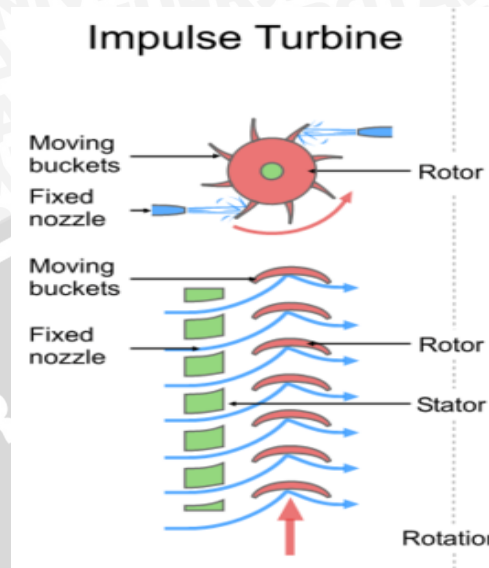


Gambar 2.4 Instalasi Turbin Propeller
Sumber : Warnick ce, Hydro Power Engineering (19)

2.4.2.2 Turbin Impuls

Turbin impuls merupakan turbin yang digerakkan oleh sebuah atau beberapa pancaran air (*water jet*) berkecepatan tinggi dari *nozzle*. Prinsip kerjanya yaitu mengubah energi potensial dari air menjadi energi kinetik pada *nozzle*. Air keluar dari *nozzle* dengan kecepatan tinggi menumbuk sudu turbin. Setelah menumbuk sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls) akibatnya roda turbin akan berputar. Seluruh energi yang tersedia diubah oleh *nozzle* menjadi kinetik pada tekanan atmosfer sebelum fluida menyentuh sudu-sudu bergerak seperti pada gambar 2.1 turbin impuls ini cocok untuk head yang tinggi dengan kapasitas air yang rendah. Jenis turbin ini

mengubah head yang tinggi menjadi semburan kecepatan tinggi pada *nozzle*. Jenis-jenis turbin impuls adalah turbin Pelton, turbin Turgo, dan turbin *Crossflow*.



Gambar 2.5 Turbin impuls
Sumber : gunawananeva.wordpress.com, 2013

1. Turbin Pelton

Turbin pelton memiliki dua bagian utama yaitu runner dan nozzle. Turbin ini berputar karena air yang disemprotkan dari nozzle. Turbin pelton banyak digunakan untuk pemanfaatan energi hidro yang memiliki head yang tinggi (>300) dengan kapasitas aliran kecil.



Gambar 2.6 Turbin Pelton
Sumber : David Mateos Fernandez, 2012

2. Turbin *Cross Flow* (Turbin Michael Banki)

Turbin jenis ini sering disebut dengan turbin arus melintang. Prinsip kerja dari turbin ini adalah dengan melewati air melalui sudu jalan yang berbentuk

silinder, kemudian aliran air dari dalam silinder menumbuk pada sudu sisi berikutnya sebelum keluar silinder atau runner turbin.

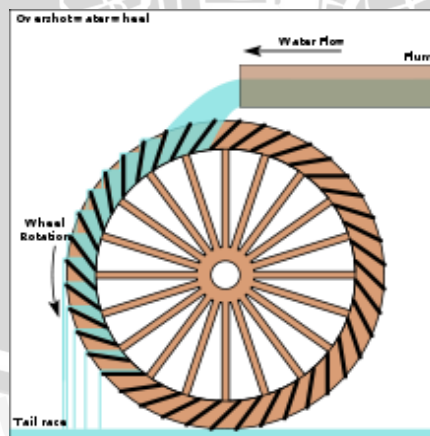


Gambar 2.7 : Turbin Michael Banki
Sumber : Asep Neris Bachtiar, 2009

3. Kincir Air

Kincir air adalah jenis turbin air yang paling kuno sudah sejak lama digunakan oleh masyarakat. Teknologinya sederhana, material kayu bisa dipakai untuk membuat kincir air, tetapi untuk operasi pada tinggi jatuh air yang besar biasanya kincir air dibuat dengan besi. Kincir air bekerjanya pada tinggi jatuh yang rendah biasanya antara 0,1 m sampai 12 m dengan kapasitas aliran yang berkisar antara $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ sampai $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Dari data tersebut pemakai kincir air adalah di daerah yang alirannya tidak besar dan tinggi jatuh yang kecil. Jenis kincir air antara lain :

a. Kincir Air *Overshot*



Gambar 2.8 kincir air *overshot*
Sumber : darwin1797.wordpress.com, 2013

Kincir air *overshot* bekerja bila air yang mengalir jatuh ke dalam bagian sudu-sudu sisi bagian atas, dan karena gaya berat air roda kincir

berputar. Kincir air *overshot* adalah kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain.

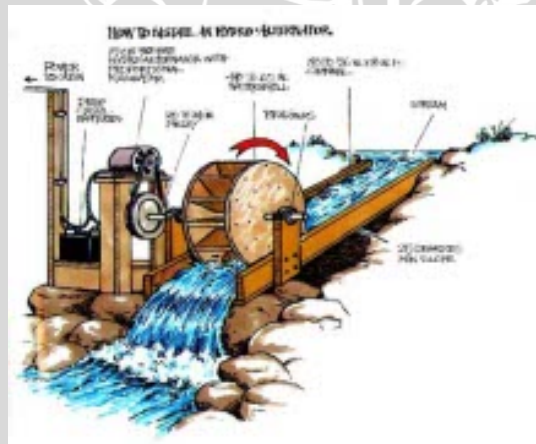
Keuntungan :

- Tingkat efisiensi yang tinggi, dapat mencapai 85%.
- Tidak membutuhkan aliran yang deras.
- Konstruksi yang sederhana.
- Mudah dalam perawatan.
- Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.

Kerugian :

- Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air, sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak.
- Tidak dapat diterapkan untuk mesin putaran tinggi.
- Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.
- Daya yang dihasilkan relatif kecil.

b. Kincir Air *Undershot*



Gambar 2.9 kincir air *undershot*
Sumber : umy.ac.id, 2013

Kincir air *undershot* bekerja bila air yang mengalir, menghantam dinding sudu pada bagian bawah dari kincir air. Kincir air tipe *undershot* tidak mempunyai tambahan keuntungan dari head. Tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata. Tipe ini disebut juga dengan

”*Vitruvian*”. Disini aliran air berlawanan dengan arah sudu yang memutar kincir.

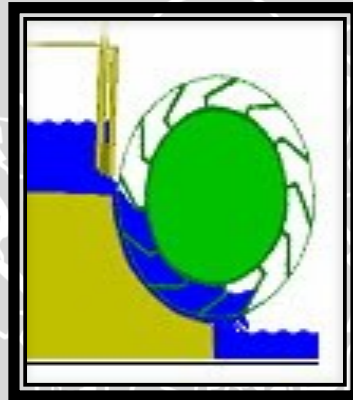
Keuntungan :

- Konstruksi lebih sederhana
- Lebih ekonomis
- Mudah untuk dipindahkan

Kerugian :

- Efisiensi kecil
- Daya yang dihasilkan relatif kecil

c. Kincir Air *Breastshot*



Gambar 2.10 kincir air *Breastshot*
Sumber : *Anonymus 4* : 2012

Kincir air *Breastshot* merupakan perpaduan antara tipe *overshot* dan *undershot* dilihat dari energi yang diterimanya. Jarak tinggi jatuhnya tidak melebihi diameter kincir, arah aliran air yang menggerakkan kincir air disekitar sumbu poros dari kincir air. Kincir air jenis ini memperbaiki kinerja dari kincir air tipe *undershot*.

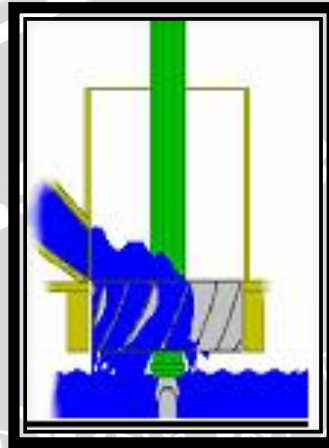
Keuntungan :

- Tipe ini lebih efisien dari tipe *undershot*.
- Dibandingkan tipe *overshot* tinggi jatuhnya lebih pendek.
- Dapat diaplikasikan pada sumber air aliran datar.

Kerugian :

- Sudu-sudu dari tipe ini tidak rata seperti tipe *undershot* (lebih rumit).
- Diperlukan dam pada arus aliran datar.
- Efisiensi lebih kecil dari pada tipe *overshot*.

d. Kincir Air Tub



Gambar 2.11 kincir air *Tub*
Sumber : *Anonymus* 11 : 2012

Kincir air Tub merupakan kincir air yang kincirnya diletakkan secara horisontal dan sudu-sudunya miring terhadap garis vertikal, dan tipe ini dapat dibuat lebih kecil dari pada tipe *overshot* maupun tipe *undershot*. Karena arah gayadari pancuran air menyamping maka, energi yang diterima oleh kincir yaitu energi potensial dan kinetik.

Keuntungan :

- Memiliki konstruksi yang lebih ringkas.
- Kecepatan putarnya lebih cepat.

Kerugian :

- Tidak menghasilkan daya yang besar.
- Karena komponennya lebih kecil membutuhkan tingkat ketelitian yang lebih teliti.

2.5 Kinerja Kincir Air

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

2.5.1 *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 kincir air.

$$WHP = \frac{1}{2} \rho Q V_s^2 \text{ (watt)} \quad (2-8)$$

dimana :

WHP : *Water Horse Power* (watt)

Q : Debit air pada pompa (m^3/s)

V_s^2 : Kecepatan aliran air (m/s)

ρ : Massa jenis air (kg/m^3)

2.5.2 *Brake Horse Power* (BHP)

Brake Horse Power (BHP) merupakan daya yang diterima oleh poros kincir 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 prony.

$$\begin{aligned} BHP &= T \omega \\ BHp &= F l \omega \text{ (watt)} \end{aligned} \quad (2-9)$$

dimana :

BHP : *Brake Horse Power* (Watt)

T : Torsi (Nm)

F : Gaya tangensial (N)

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

l : Lengan torsi (m)

2.5.3 Rasio U/Vs

Rasio U/Vs merupakan perbandingan antara kecepatan keliling atau kecepatan tangensial dari kincir air (U) terhadap kecepatan teoritis air (Vs).

$$\frac{U}{V_s} = \frac{\omega R}{V_s} \quad (2-10)$$

Dimana :

U : kecepatan keliling kincir air (m/s)

Vs : Kecepatan aliran air (m/s)

R : Radian kincir (m)

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

2.5.4 Efisiensi Kincir 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 :

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

$$\eta = \frac{T \omega}{\frac{1}{2} \rho A V_s^3} (\%) \quad (2-11)$$

2.6 Hipotesis

Semakin besar sudut kelengkungan sudu kincir air maka semakin besar pula efisiensi yang di dapatkan, karena adanya pemindahan gaya air yang maksimal pada sudu kincir air.