

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Gusti (2013) melakukan penelitian mengenai perbandingan jumlah sudu dan gap pada turbin air savonius dengan sumbu vertikal. Pada penelitian ini menggunakan tiga variasi sudu yaitu 2, 3, dan 4. Hasil pengujian membuktikan bahwa variasi jumlah sudu dapat mempengaruhi kinerja turbin air. Pada penelitian ini turbin dengan sudu 4 dan gap 2 cm.

Yuli (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin air helikal tipe poros vertikal. Variasi pada penelitian ini menggunakan 3, 4, dan 5 sudu dengan sudut 65° . Hasil penelitian membuktikan bahwa jumlah sudu mempengaruhi unjuk kerja turbin air. Turbin dengan sudu 5 menghasilkan efisiensi paling besar.

Kurniawan (2014) melakukan penelitian tentang kajian eksperimental dan numerikal turbin air helikal *gorlov* dengan jumlah sudu 3 untuk *twist angle* 60° dan 120° . Dari hasil pengujian di dapatkan nilai efisiensi dari hasil numerik 31% untuk *twist angle* 120° dan 27,5% untuk *twist angle* 60° . Hal ini membuktikan bahwa semakin besar sudut puntir (*twist angle*) maka semakin besar juga nilai efisiensi nya.

Dari penelitian sebelumnya terdapat persamaan yaitu semakin banyak jumlah sudu maka efisiensi turbin air akan meningkat. Demikian pula semakin besar sudut puntir maka efisiensi nya akan meningkat juga. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu pada sudut punter yang lebih besar, yaitu 90° .

2.2 Potensi Tenaga Air

Indonesia merupakan negara yang mempunyai potensi tenaga air paling menjanjikan. Akan tetapi potensi tersebut masih belum dimanfaatkan secara optimal dan masih bergantung pada bahan bakar fosil. Aliran fluida mempunyai energi yang dapat dikonversikan menjadi sumber energi listrik melalui putaran poros turbin. Energi potensial adalah energi yang berasal dari beda ketinggian atau elevasi. Energi kinetik adalah energi yang dimiliki air karena kecepatannya..

Energi dalam air biasa disebut *head* dimana energi persatuan berat fluida. Total energi yang dimiliki oleh air adalah berat ($m.g$) dikalikan dengan *head* (h) dan di hitung dengan cara :

$$E = m. g. h \dots\dots\dots(2-1)$$

dengan :

- E = energi potensial (Nm)
 m = massa air (kg)
 g = percepatan gravitasi (m/s^2)
 h = head (m)

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

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

Debit (Q) merupakan banyaknya jumlah air dalam satuan volume per waktu.

Dengan mensubstitusi P terhadap E/t dan ρQ terhadap m/t maka :

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

dengan :

- P = daya potensial air (watt)
 Q = debit aliran air (m^3/s)
 ρ = densitas air (kg/m^3)

Untuk energi kinetik juga dapat di hitung dengan persamaan berikut :

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

dengan :

- v = kecepatan aliran air (m/s^2)

Hubungan energi kinetik dengan daya yang dihasilkan adalah :

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

Debit juga mempunyai rumus $Q = A \cdot v$ yang kemudia dimasukkan dalam rumus (2-5) , maka :

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

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

dengan :

A = luas penampang aliran air (m^3)

2.3 Turbin Air

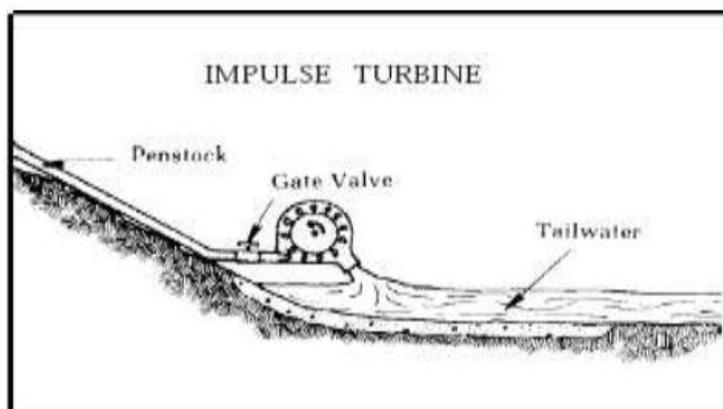
Turbin air adalah mesin konversi energi yang mengubah energi air (potensial dan kinetik) menjadi energi mekanik. Turbin menggunakan air sebagai fluidanya. Air mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah yang menyebabkan air mempunyai energi potensial. Dalam proses aliran, energi potensial akan berubah menjadi energi kinetik. Kemudian pada akhirnya turbin akan merubahnya menjadi energi mekanik.

Bagian turbin yang berperan penting salah satunya adalah sudu yang berfungsi untuk mengkonversi energi. Aliran air yang membawa energi kinetik menabrak sudu-sudu turbin, menyebabkan poros turbin berputar. Setelah itu poros turbin yang berputar akan menyalurkan energi ke generator dan akan menghasilkan energi listrik.

2.4 Klasifikasi Turbin Air

Ada berbagai macam jenis turbin yang digunakan untuk mengkonversi energi air, hal ini menyesuaikan dengan kondisi dimana turbin itu bekerja. Berdasarkan prinsip kerja dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Turbin impuls



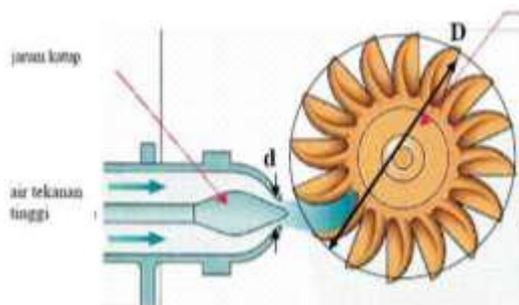
Gambar 2.1 Cara Kerja Turbin Impuls
Sumber: Supratmanto (2016)

Turbin impuls merupakan turbin air yang memiliki tekanan sama pada setiap sudu gerakannya (*runner*). Energi potensial diubah menjadi energi kinetik pada nosel. Air yang keluar dari nosel akan menumbuk sudu dan terjadi perubahan momentum (impuls).

Akibatnya roda impuls akan berputar. Turbin impuls memiliki tekanan yang sama dengan atmosfer sekitarnya. Semua energi, tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Contoh turbin impuls adalah turbin Pelton, turbin turgo dan turbin *crossflow*.

a. Turbin Pelton

Turbin pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih nosel. Turbin pelton adalah salah satu dari jenis turbin yang paling efisien. Turbin ini cocok untuk *head* tinggi.

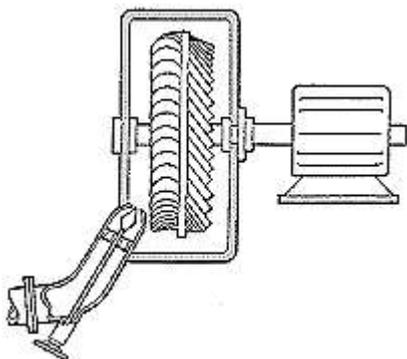


Gambar 2.2 Turbin Pelton
Sumber: Rahmanta (2011)

Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian rupa agar pancaran air mengenai tengah-tengah sudu. Pancaran air tersebut akan berbelok sehingga bisa membalikkan air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping. Supaya efisiensi maksimal turbin pelton harus mempunyai hubungan antara kecepatan tangensial dan kecepatan pancaran air. Kecepatan tangensial dan kecepatan pancaran air mempunyai arah yang sama untuk aliran masuk. Dengan adanya *head* yang telah ditentukan mengakibatkan adanya pancaran air yang menggerakkan roda turbin dengan kecepatan tangensial. Karena ketinggian tidak dapat dirubah maka alternatif lain adalah kecepatan putar roda dan jumlah nosel.

b. Turbin turgo

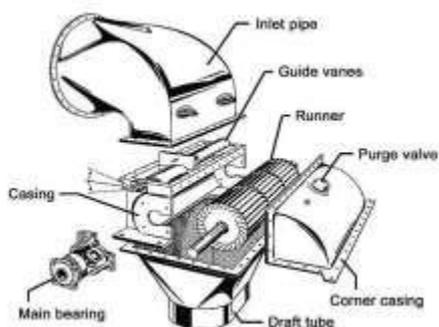
Turbin turgo hampir sama dengan turbin pelton tetapi sudunya berbeda. Pancaran air dari nosel membentur sudu pada sudut 20° . Kecepatan putar turbin lebih besar dari turbin pelton, yang membuat transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi dan biaya perawatan. Turbin turgo dapat beroperasi pada *head* 30 m sampai 300 m.



Gambar 2.3 Turbin Turgo
Sumber: Al-jauza (2014)

c. Turbin *crossflow*

Turbin *crossflow* dikembangkan oleh Anthony Michell, Donát Bánki, dan Fritz Ossberger. Dan kemudian di tahun 1903 Michell mendapatkan paten untuk desain turbin nya. Turbin ini dapat dioperasikan pada debit 20 liter/s hingga 10 m³/s dengan ketinggian jatuh air antara 1 m sampai 200 m.



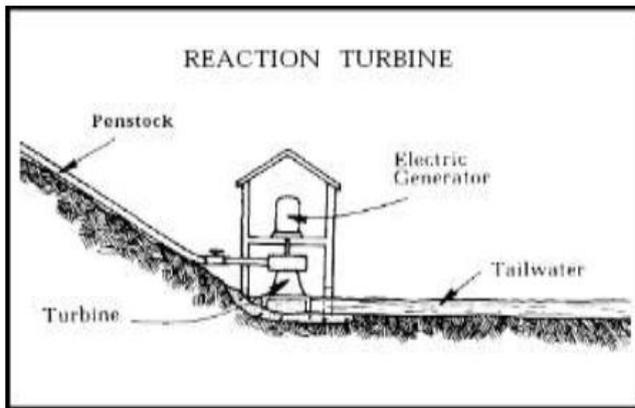
Gambar 2.4 Turbin *Crossflow*
Sumber: Bachtiar (2009)

Turbin *crossflow* menggunakan nosel persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan *runner*. Air masuk turbin dan menumbuk sudu sehingga merubah energi kinetik menjadi energi mekanis. *Runner* turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang piringan paralel.

2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi mempunyai sudu yang mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga *runner* (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. *Runner* ini sepenuhnya tercelup didalam air dan berada dalam rumah

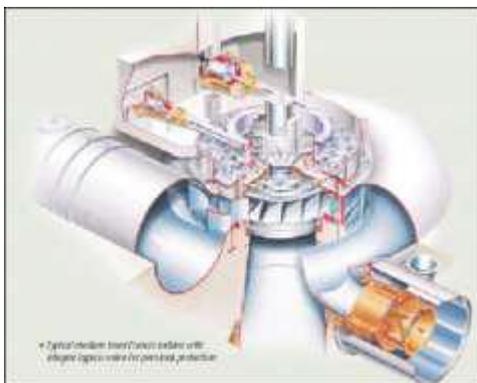
turbin. turbin ini mengubah energi kinetik juga energi tekanan secara bersamaan menjadi energi mekanik, contohnya adalah turbin Francis dan turbin Kaplan.



Gambar 2.5 Cara Kerja Turbin Reaksi
Sumber: Supratmanto (2016)

a. Turbin Francis

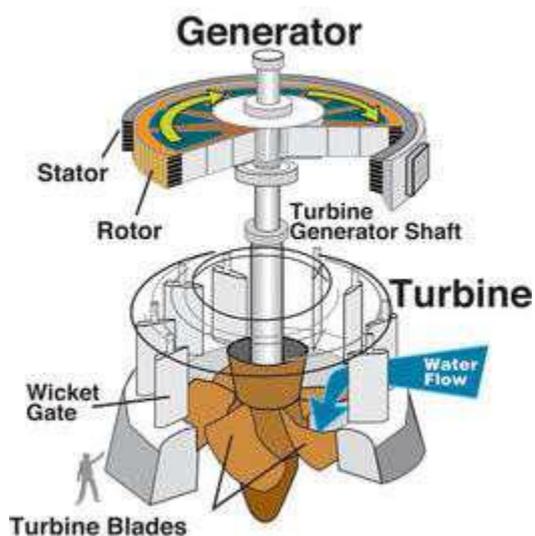
Turbin Francis merupakan turbin reaksi yang dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan sumber air yang bertekanan rendah dibagian keluar. Sudu yang digunakan adalah sudu pengarah. Sudu ini masuk secara tangensial yang dimana dapat diatur sudut nya. Daya yang dihasilkan turbin dapat diatur dengan cara mengubah posisi pembukaan sudu pengarah, dengan demikian kapasitas air yang masuk dapat diperbesar atau diperkecil. Turbin francis dapat dibuat dengan kecepatan putar yang sama tingginya, dimana kecepatan putar yang tinggi menghasilkan keuntungan terhadap berat turbin air dan generatornya. Efisiensi untuk turbin francis yang baik dengan beban penuh, tetapi akan memburuk jika bebannya tidak penuh.



Gambar 2.6 Turbin Francis
Sumber: Ernandi (2012)

b. Turbin Kaplan

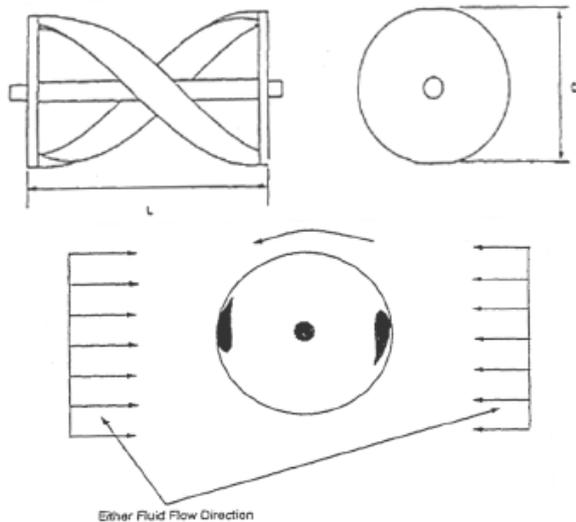
Turbin kaplan dikembangkan dari tahun 1876 sampai 1934 yang menghasilkan sudu jalan turbin dapat diputar di dalam leher poros. Jadi sudut-sudut dapat diatur sesuai dengan kondisi operasi turbin air saat ini. Kontruksi turbin kaplan berbeda dengan turbin francis tetapi alat pengarahnya sama. Pada leher poros terdapat kipas sudu yang berfungsi layaknya baling-baling sayap pesawat yang membuat gaya dorong ke atas dengan tahanan yang sedikit. Turbin kaplan dapat menghasilkan daya sebesar 100.000 kW.



Gambar 2.7 Turbin Kaplan
Sumber: Idrus (2011)

2.5 Turbin Helikal (Gorlov)

Turbin Helikal (Gorlov) adalah jenis turbin jenis *crossflow* yang baru dikembangkan pada tahun 1995 oleh Alexander M. Gorlov. Turbin ini merupakan pengembangan dari turbin *Darrieus*. Turbin ini dapat bekerja pada arus sungai, arus laut dan pasang surut air laut. Turbin helikal memanfaatkan aliran air yang akan melewati sudu yang dimana profilnya berupa *airfoil*. *Airfoil* adalah profil aerodinamika sederhana yang biasanya dibuat untuk sayap pesawat terbang. Dengan bentuk sudu *airfoil* dan helikal akan menyebabkan turbin berputar.



Gambar 2.8 Mekanisme Kerja Turbin Helikal
 Sumber: Gorlov (1998, p.175)

Turbin helikal mempunyai kelebihan dalam memulai putaran awal (*starting point*) dengan sendirinya. Dan juga dapat menerima aliran horizontal dari segala arah dikarenakan bentuk dari konstruksi turbin itu sendiri.

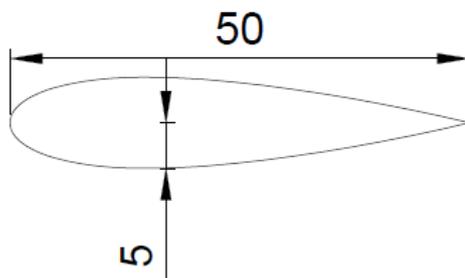
2.6 Prinsip Kerja Turbin Air Helikal

Turbin air helikal menggunakan sudu yang berbentuk *airfoil* dengan arah melintang dengan besar sudut tertentu. Sudu tersebut berguna untuk mengubah energi dari aliran yang bergerak yang nantinya akan di ubah energi gerak pada poros turbin. Sudu turbin sangat mempengaruhi dalam kinerja turbin sehingga perlu diadakan penelitian lebih lanjut. aliran air yang menumbuk sudu akan di jelaskan pada sub-bab berikutnya.

2.6.1 *Airfoil*

Airfoil adalah sebuah profil aerodinamika sederhana yang menyerupai sayap burung, dengan bagian depan tumpul. *Airfoil* ini biasanya digunakan sebagai bentuk sayap pesawat terbang agar menghasilkan gaya angkat (*lift*) yang memungkinkan pesawat untuk terbang.

Pada penelitian ini *airfoil* yang digunakan adalah NACA 0020. Zulkifli melakukan penelitian tentang 3 macam *airfoil* yaitu NACA 0020,0018,0031. Dari hasil penelitian tersebut NACA 0020 memiliki bentukan paling efisien dikarenakan mempengaruhi bentukan geometrinya. Zulkifli (2014)

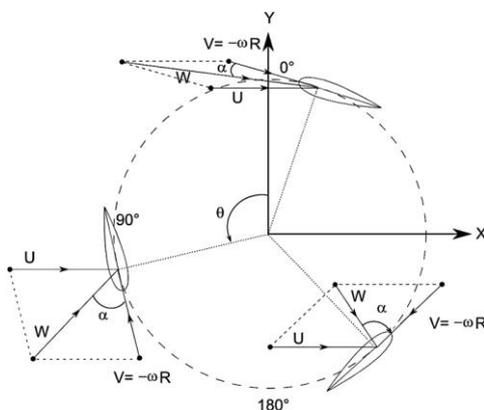


Gambar 2.9 Profil NACA 0020 dalam ukuran (mm)

Untuk *airfoil* NACA, telah dikeluarkan standar data beserta karakteristik aerodinamiknya yang dinyatakan dalam bentuk serial number yang terdiri dari 4 digit, yang dimana setiap digit mempunyai arti:

- Angka pertama menunjukkan harga maksimum *chamber* dalam presentase terhadap *chord*.
- Angka kedua menunjukkan lokasi dari maksimum *chamber* dalam persepuluh *chord*.
- Dua angka terakhir menunjukkan maksimum *thickness* dalam persentase *chord*.

2.6.2 Diagram Kecepatan



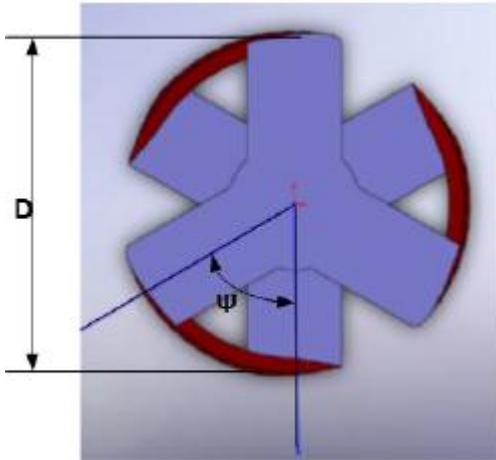
Gambar 2.10 Diagram Kecepatan
Sumber: Supratmanto (2016)

Dari gambar 2.9 menghasilkan kecepatan yang bervariasi, begitu juga sudut serang (α). Sudut serang adalah sudut yang terbentuk dari resultan kecepatan (W) dengan kecepatan keliling (V). Adapun parameter yang lain adalah:

- Kecepatan tangensial turbin (u), yang dapat dihitung dari rumus ($\omega \cdot R$).
- Kecepatan aliran fluida (v), yang digambarkan mempunyai arah dari kiri.
- Resultan kecepatan (W), yang diperoleh dari penjumlahan (v) dan (u).

- Sudut rotasi sudu (θ), yang merupakan posisi derajat putar sudu.
- Gaya angkat (*lift*) (L) dan gaya hambat (*drag*) (D), yang merupakan hasil dari penguraian resultan vektor kecepatan (W).

2.6.3 Sudut Puntir (Ψ)



Gambar 2.11 Parameter Sudut Puntir
Sumber: Kurniawan (2014)

Sudut puntir (Ψ) merupakan sudut yang terbentuk antara sudu pada bagian atas turbin dan sudu bagian bawah. Sudut puntir mempengaruhi profil dari sudu turbin helikal. Semakin besar sudut puntir maka luas permukaan yang bertumbukan dengan aliran air akan semakin besar juga. Hal ini membuat sudut puntir mempengaruhi efisiensi dari turbin helikal itu sendiri.

2.7 Parameter yang Digunakan

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode analisis dimensional. Analisis dimensional adalah suatu metode dimana mengelompokkan sejumlah parameter yang relevan yang menggambarkan fenomena fisik tertentu atau proses menjadi jumlah parameter nondimensional yang lebih sederhana. Hal ini penting karena pengelompokkan ini lebih empiris di keadaan sebenarnya. Peng (2008, p.20)

Pada jenis turbin ini dikelompokkan menjadi 2 parameter nondimensional yaitu:

$$C_p = \frac{P_s}{\frac{1}{2}\rho AV^3} \dots\dots\dots (2-8)$$

Dimana C_p adalah *power coefficient* atau efisiensi yang dimana didapat dari hasil daya poros (BHP) dibagi daya air (WHP).

$$TSR = \frac{\omega R}{V_s} \dots\dots\dots (2-9)$$

Dimana TSR adalah *tip speed ratio* yang dimana didapat dari kecepatan turbin (ωR) dibagi kecepatan aliran air (V_s).

2.8 Unjuk Kerja Turbin Air

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

2.8.1 Brake Horse Power (BHP)

Brake Horse Power (BHP) merupakan daya yang diterima oleh poros turbin dari aliran air yang menumbuk sudu-sudu. Cara menghitung BHP dengan mengukur torsi dengan rem prony.

$$BHP = T \cdot \omega \dots\dots\dots (2-10)$$

$$BHP = F \cdot l \cdot \omega \dots\dots\dots (2-11)$$

dengan :

BHP = Brake Horse Power (Watt)

T = torsi (Nm)

F = gaya tangensial (N)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

l = lengan torsi (m)

2.8.2 Water Horse Power (WHP)

Water Horse Power (WHP) adalah daya yang dimiliki oleh air dalam bentuk *velocity head* (head turbin) yang akan dirubah menjadi energi mekanik pada poros. Aliran air memiliki komponen kecepatan dan dapat dihitung sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2} m(V_s)^2 \dots\dots\dots (2-12)$$

$$\frac{E}{t} = \frac{\frac{1}{2} m(V_s)^2}{t} \dots\dots\dots (2-13)$$

$$WHP = \frac{1}{2} \rho Q (Vs)^2 \dots\dots\dots(2-14)$$

dengan :

WHP = *Water Horse Power* (Watt)

Q = debit air pada pompa (m^3/s)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

Vs^2 = kecepatan aliran air (m/s)

2.8.3 *Tip Speed Ratio*

Tip speed ratio adalah perbandingan antara kecepatan keliling (u) terhadap kecepatan aliran air (Vs) yang berfungsi untuk mengetahui kemampuan maksimum suatu turbin.

$$TSR = \frac{u}{Vs} = \frac{\omega R}{Vs} \dots\dots\dots(2-15)$$

dengan :

u = kecepatan keliling (m/s)

Vs = kecepatan aliran air (m/s)

R = jari-jari turbin (m)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

2.8.4 Efisiensi Turbin Air

Efisiensi dari turbin air dapat dihitung dengan perbandingan antara daya yang dihasilkan pada poros turbin (BHP) dengan daya yang dibeikan oleh fluida air (WHP). Efisiensi menunjukkan kemampuan turbin air untuk mengubah energi dari air menjadi energi mekanik putaran poros. Efisiensi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{BHP}{WHP} (\%) \dots\dots\dots(2-16)$$

dengan :

BHP = *Brake Horse Power* (Watt)

WHP = *Water Horse Power* (Watt)

2.9 Hipotesa

Untuk kecepatan aliran air yang sama semakin banyak jumlah sudu maka semakin besar luas permukaan sudu yang bertumbukan dengan aliran air sehingga torsi yang dihasilkan semakin besar. Yang nantinya efisiensi turbin air helikal akan meningkat.

