

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air

Penggunaan energi air sebagai sumber energi sudah dilakukan sejak lama, salah satunya dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga air. Pembangkit listrik tenaga air memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik air yang dikonversikan menjadi daya angular oleh turbin air. Sederhananya air yang bergerak menggerakkan turbin, turbin memutar generator dan energi listrik dihasilkan. Banyak komponen lain terdapat dalam sistem tetapi semuanya dimulai dengan energi pada air tersebut.

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) mempunyai kelebihan dalam hal biaya operasi yang rendah jika dibandingkan dengan Pembangkit Listrik Tenaga yang lain, karena mikro hidro memanfaatkan energi sumber daya alam yang dapat diperbarui, yaitu sumber daya air (Endardjo, et, all 1998). Dengan ukurannya yang kecil penerapan mikro hidro relative mudah dan tidak merusak lingkungan. Rentang penggunaannya cukup luas, terutama untuk menggerakkan peralatan atau mesin-mesin yang tidak memerlukan persyaratan stabilitas tegangan yang akurat (Endardjo, et, all 1998)

2.2. Kriteria Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Dalam mencapai tujuan pembangunan PLTMH harus dapat memenuhi beberapa kriteria yang dipandang sangat penting untuk di perhatikan. Dengan begitu kriteria yang harus diperhatikan yaitu :

1. Relatif harus dapat dibangun di banyak tempat, oleh sebab itu harus memenuhi persyaratan teknis agar dapat dibangun dengan jangkauan jatuh yang rendah sehingga dapat dibangun dengan jangkauan lokasi lebih luas.
2. Biaya pembangunan serendah mungkin dan cepat pelaksanaan pembuatannya, oleh sebab itu harus dapat dibuat dalam negeri sendiri oleh tenaga-tenaga ahli dalam negeri., sehingga tidak memerlukan waktu impor yang cukup lama.
3. Proses pembuatannya harus dapat dibuat dimana-mana dan mudah dioperasikan, oleh karena itu konstruksinya harus muda dan sederhana dengan penggunaan teknologi tepat guna sehingga bengkel-bengkel dalam negeri mampu membuatnya.
4. Peralatan harus cukup andal karena peng operasiaannya berada di daerah yang terisolir seperti daerah pegunungan dan berbukit untuk mendapatkan kecepatan aliran air.

2.3. Energi dari Tenaga Air (Hydropower)

Energi air merupakan kombinasi antara tinggi jatuh dan debit air. Besarnya energy air yang tersedia dari suatu sumber air tergantung pada besarnya tinggi jatuh dan debit air. Keduanya diperlukan untuk bisa menghasilkan listrik. Tinggi jatuh merupakan tekanan air yang dihasilkan oleh perbedaan ketinggian antara muka

air pada reservoir dan muka air keluar dari turbin. Sedangkan debit merupakan jumlah aliran (Volume per satuan waktu) yang melewati turbin. Tinggi jatuh dan debit merupakan dua hal yang sangat penting yang perlu diketahui dalam membangun suatu lokasi untuk pembangkitan listrik tenaga air.

2.4. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit listrik dari air bergantung pada ketersediaan tinggi jatuh dan debit. Keduanya harus tersedia untuk menghasilkan listrik. PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air yang ada pada saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air yang bertekanan (dihasilkan oleh tinggi jatuh) menciptakan gaya yang memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya akan memutar generator yang menghasilkan listrik. Semakin tinggi jatuh atau semakin banyak debit air akan menghasilkan listrik yang lebih banyak.

2.5. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Komponen utama PLTMH adalah sebagai berikut

1. Saluran Pengambilan (intake) dan Bendungan (weir)
2. Bak Pengendap
3. Saluran Pembawa (tinggi jatuhrace)
4. Saluran Pelimpah (spillway)
5. Bak Penenang (forebay)
6. Pipa Pesat (penstock)
7. Rumah Pembangkit (power house)
8. Turbin Air

9. Generator

10. Peralatan Kontrol Listrik

11. Sistem Jaringan dan Distribusi Listrik

2.6. Kincir Air

Kincir air merupakan suatu pembangkit mula-mula yang memanfaatkan energi potensial air menjadi energi mekanik dimana air memutar roda kincir. Air yang berada pada ketinggian tertentu memiliki energi potensial. Ketika air mengalir ketempat yang lebih rendah, energi potensial berubah menjadi energi kinetik. Oleh kincir air, energi kinetik dirubah menjadi energi mekanik



Gambar 2.1 kincir air

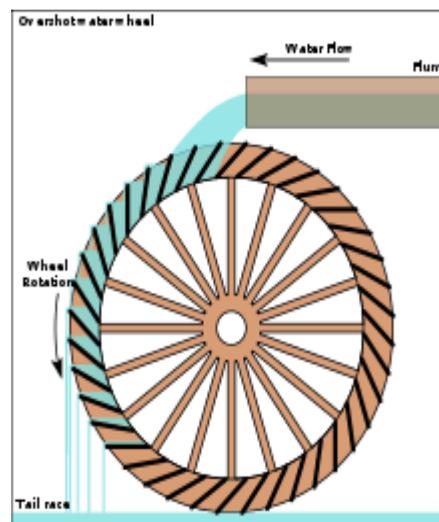
Sumber : <https://www.istockphoto.com>

2.7. Jenis-Jenis Kincir

Kincir air dapat dikelompokkan menjadi 2 tipe dilihat dari kerja kincir dalam hal mengubah tinggi jatuh, yaitu :

a. Kincir Reaksi

Kincir reaksi adalah kincir yang memanfaatkan energi potensial untuk menghasilkan energi gerak. Sudu kincir reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian kincir yang berputar) dapat berputar. Kincir yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai kincir reaksi. Kincir yang termasuk dalam kincir reaksi antara lain: turbin francis, turbin kaplan, dan turbin propeller (Susatyo, 2003).

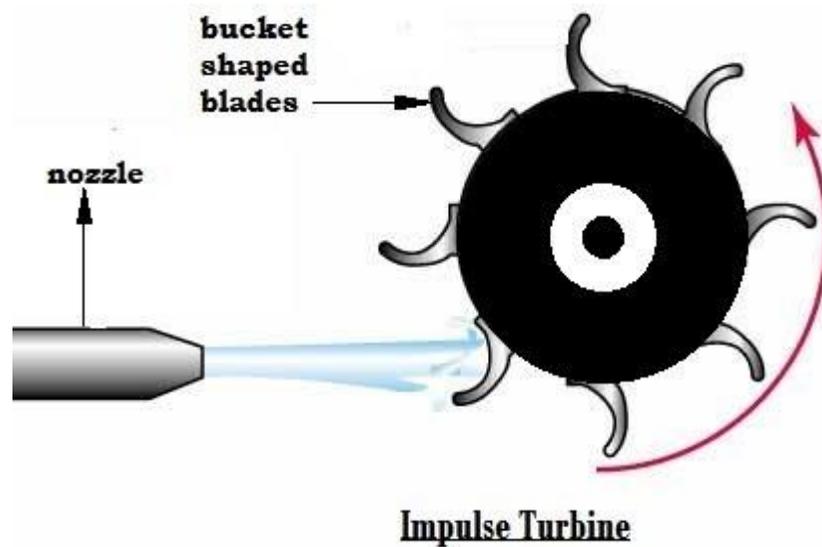


Gambar 2.2 kincir reaksi
 Sumber : <https://www.google.com>

b. Kincir Impuls

Kincir impuls adalah turbin yang memanfaatkan energi potensial air yang diubah menjadi energi kinetik dengan nozzle. Air yang keluar dari nozzle mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu kincir. Setelah membentur sudu, arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls), akibatnya roda kincir akan berputar. Kincir impuls memiliki tekanan sama karena aliran air

yang keluar dari nozzle tekanannya sama dengan tekanan 7 atmosfer sekitarnya. Kincir yang termasuk dalam kincir impuls antara lain: turbin pelton, turbin turgo, dan turbin michell-banki (Susatyo, 2003).



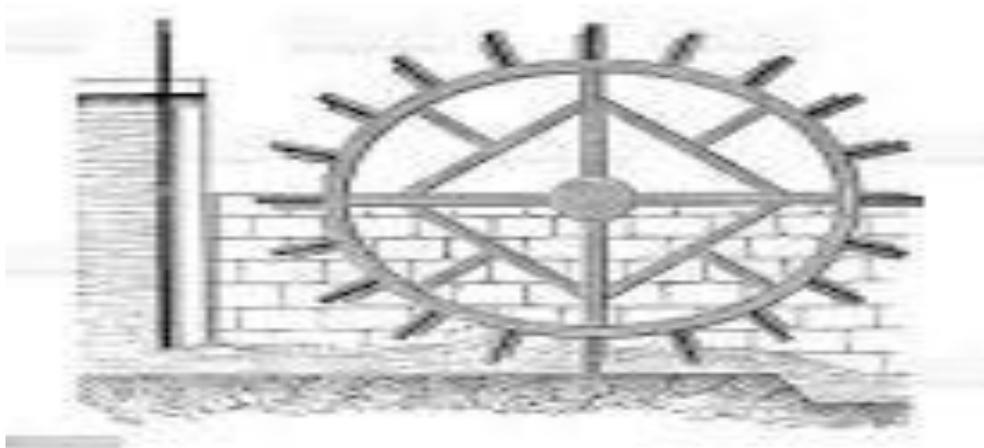
Gambar 2.3 kincir implus

Sumber : <https://www.gesainstech.com>

kincir air dapat dikelompokkan berdasarkan aliran arah tembak fluida pada sudu kincir yaitu (Morong, 2016):

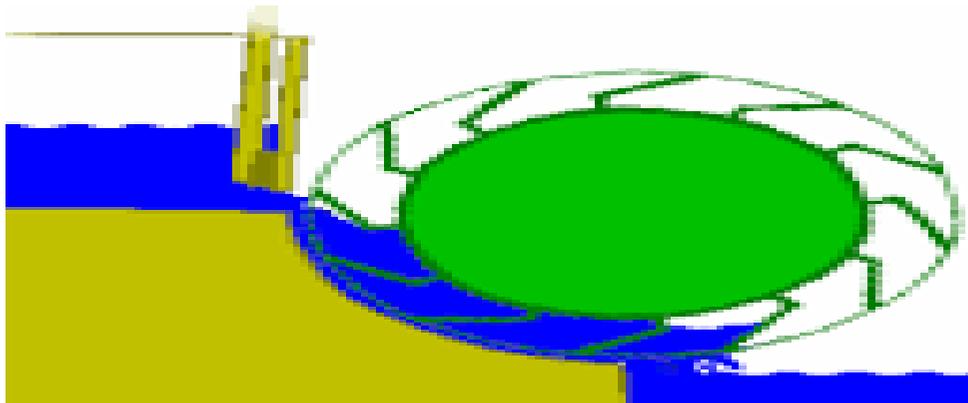
a. Undershot

Kincir air tipe undershot adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian bawah kincir. Roda kincir berputar hanya karena tumbukan air yang berbentuk percikan air pada sudu roda, berbentuk lurus searah radial. Head potensial dari air mulamula diubah menjadi head kecepatan, sebelum air menumbuk sudu kincir



Gambar 2.4 Kincir Undershot
(Sumber: <https://slideplayer.info>)

- b. Breastshot Kincir air tipe breastshot merupakan perpaduan antara kincir overshot dan undershot dilihat dari energi yang diterimanya. Kincir air breastshot juga memerlukan beda tinggi dengan pancaran air. Jarak tinggi jatuhnya tidak melebihi diameter kincir, arah aliran air yang menggerakkan kincir air disekitar sumbu poros dari kincir air (Budi, 2013).



Gambar 2.5 Kincir Breastshot
Sumber: <https://slideplayer.info>

- c. Overshot Kincir air tipe overshot adalah tipe kincir yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian atas kincir dan karena gaya berat air kincir berputar. Kincir air overshot memerlukan beda tinggi dengan

pancaran air. Kincir air overshoot adalah kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir lain (Budi, 2013).



Gambar 2.6 Kincir Overshot

Sumber: <https://slideplayer.info>

2.8 Defenisi Turbin

Turbin adalah mesin penggerak yang mengubah energi potensial fluida menjadi energi mekanik yang kemudian diubah lagi menjadi energi listrik pada generator. Bagian turbin yang berputar disebut *runner* atau roda turbin. Roda turbin terletak di dalam rumah turbin dan memutar poros daya yang menggerakkan generator listrik. Pada roda turbin terdapat sudu dan fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut. Sebuah roda turbin bisa saja terdapat beberapa baris sudu gerak yang dipasang berurutan dalam arah aliran fluida kerja, setiap baris sudu terdiri dari sudu yang disusun melingkar masing-masing dengan bentuk yang sama. Turbin dengan satu baris sudu gerak disebut turbin bertingkat tunggal, sedangkan turbin dengan beberapa baris sudu gerak disebut turbin bertingkat ganda. Proses fluida kerja mengalir melalui baris sudu yang pertama, kemudian baris kedua, ketiga dan seterusnya, namun sebelum mengalir ke setiap baris sudu yang bersatu dengan rumah turbin. Karena sudu tersebut tidak berputar, sudu tersebut disebut sudu tetap,

yang berfungsi mengarahkan aliran fluida kerja masuk kedalam sudu gerak berikutnya bisa juga disebut nosel (Haimerl 1960).

2.9 Prinsip Kerja Turbin

Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Aliran air yang mempunyai energi potensial akan disemprotkan ke sudu-sudu turbin oleh nozzle. Putaran dari sudu-sudu tersebut akan mengakibatkan poros turbin ikut bergerak dan kemudian putaran poros turbin akan diteruskan ke generator listrik untuk diubah menjadi energi listrik.

2.10 Jenis- Jenis Turbin

a. Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi,dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill.

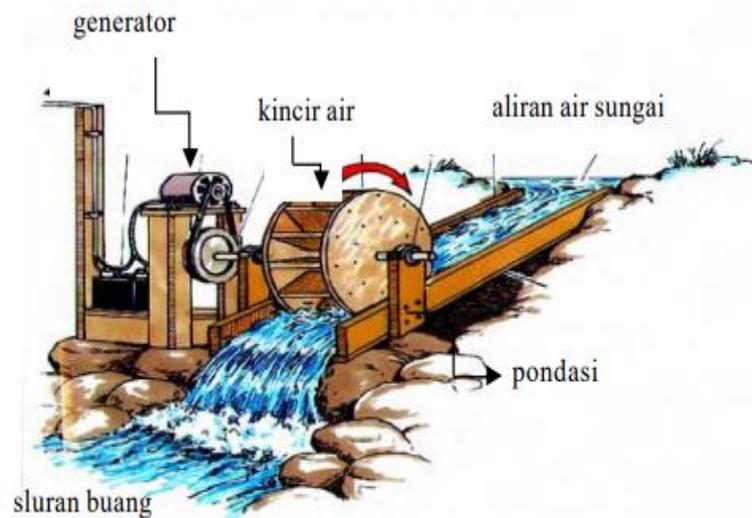


Gambar 2.6 turbin angin

Sumber : <https://internasional.kompas.com>

b. Turbin Air

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik. Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Gaya jatuh air yang mendorong baling-baling menyebabkan turbin berputar. Turbin air kebanyakan seperti kincir angin, dengan menggantikan fungsi dorong angin untuk memutar baling-baling digantikan air untuk memutar turbin. Perputaran turbin ini di hubungkan ke generator.



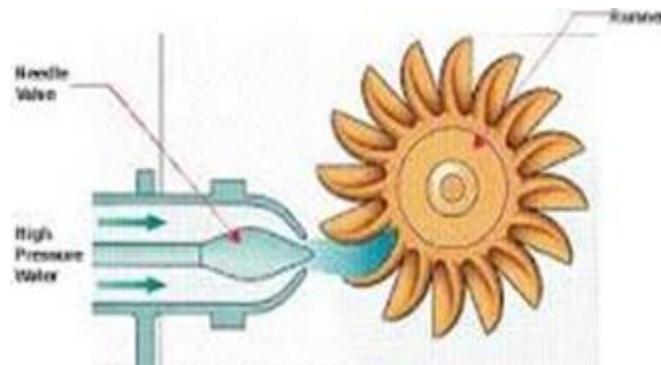
Gambar 2.7 turbin air

Sumber : <https://www.siswaotomotif.com>

2.11 Jenis-Jenis Turbin Air

a. Turbin pelton

Turbin pelton termasuk jenis turbin impuls yang merubah seluruh energi air menjadi kecepatan sebelum memasuki runner turbin. Perubahan energi ini dilakukan didalam nozzle dimana air yang semula mempunyai energi kinetis. Pancaran air yang keluar dari nozzle akan menumbuk bucket yang dipasang tetap sekeliling runner dan garis pusat pancaran air menyinggung lingkaran dari pusat bucket. Kecepatan keliling dari bucket akibat tumbukan yang terjadi tergantung dari jumlah dan ukuran pancaran serta kecepatannya. Kecepatan pancaran tergantung dari tinggi air diatas nozzle serta effisiensinya.



Gambar 2.8 Turbin Pelton

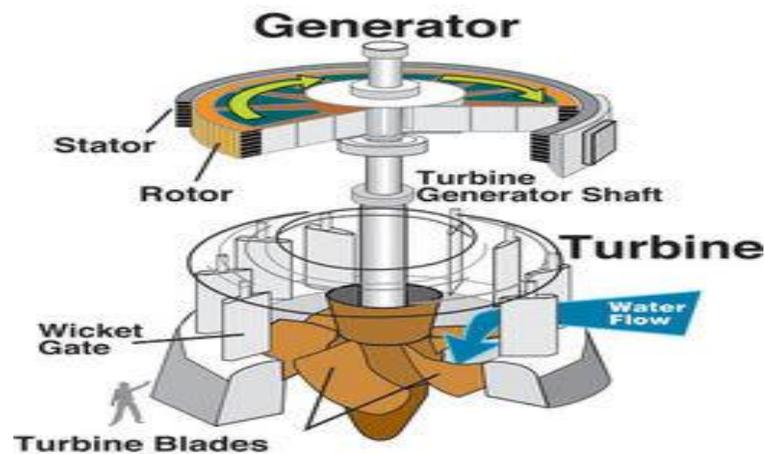
Sumber : <http://anasmesin.blogspot.com>

b. Turbin Kaplan Propeller

Turbin Kaplan termasuk kelompok turbin air reaksi jenis baling-baling (propeller). Keistimewaannya adalah sudut sudu geraknya (runner) bisa diatur (adjustable blade) untuk menyesuaikan dengan kondisi aliran saat itu yaitu perubahan debit air pada pemilihan turbin didasarkan pada kecepatan spesifiknya. Turbin Kaplan ini memiliki kecepatan spesifik tinggi (high specific speed). Turbin Kaplan bekerja pada kondisi head rendah dengan debit besar. Pada perancangannya turbin Kaplan ini meliputi perancangan komponen utama turbin Kaplan yaitu sudu gerak (runner), sudu pengarah (guide vane), spiral casing, draft tube dan mekanisme pengaturan sudut bilah sudu gerak.

Pemilihan profil sudu gerak dan sudu pengarah yang tepat untuk menghasilkan torsi yang besar. Perancangan spiral casing dan draft tube menggunakan persamaan empiris. Perancangan mekanisme pengatur sudut bilah (β) sudu gerak dengan memperkirakan besar sudut putaran maksimum sudu gerak berdasarkan jumlah sudu, debit air maksimum dan minimum. Turbin Kaplan ini dirancang untuk kondisi head 4m dan debit $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Akhirnya dari hasil perancangan turbin Kaplan ini didapatkan dimensi dari komponen utama turbin yang diwujudkan ke dalam bentuk gambar kerja dua dimensi.

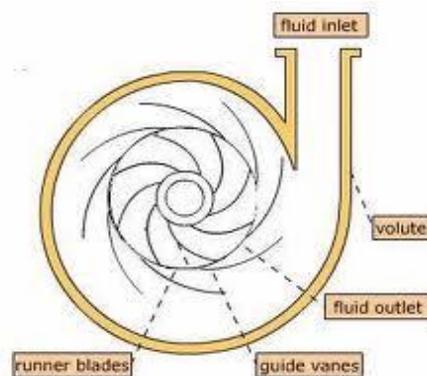


Gambar 2.9 Turbin Kaplan

Sumber : <http://hydropowerplantstpln.blogspot.com>

c. Turbin francis

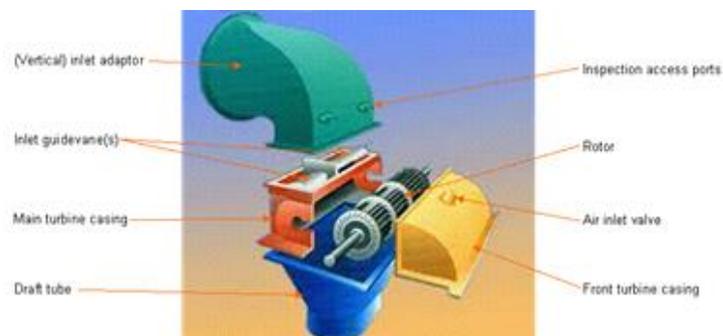
Turbin francis merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Turbin francis bekerja dengan memakai proses tekanan lebih pada waktu air masuk ke roda jalan, dengan adanya pipa isap memungkinkan energi tinggi jatuh bekerja disudu jalan dengan semaksimal mungkin. Turbin yang dikelilingi dengan sudu pengarah semuanya terbenam dalam air. Air yang masuk kedalam turbin dialirkan melalui pengisian air dari atas turbin (schact) atau melalui sebuah rumah yang berbentuk spiral (rumah keong).



Gambar 2.10 Turbin Francis
 Sumber : <http://3.bp.blogspot.com>

d. Turbin crossflow

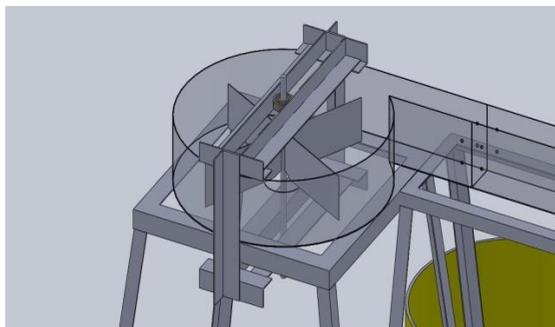
Turbin Crossflow adalah radial, turbin bertekanan kecil dengan injeksi tangensial dari putaran kipas dengan poros horisontal. Turbin ini digolongkan sebagai turbin berkecepatan rendah. Aliran air mengalir melalui pintu masuk pipa, dan diatur oleh baling-baling pemacu dan masuk ke putaran kipas turbin. Setelah air melewati putaran kipas turbin, air berada pada putaran kipas yang berlawanan, sehingga memberikan efisiensi tambahan. Akhirnya, air mengalir dari casing baik secara bebas atau melalui tabung dibawah turbin.



Gambar 2.11 Turbin crossflow
 Sumber: <http://anasmesin.blogspot.com>

e. Turbin vortex

Turbin jenis ini merupakan turbin yang memanfaatkan pusaran air sebagai utamanya dengan energi yang menggerakkan sumbu vertikal sehingga terdapat perbedaan antara tekanan dan sumbu disekelilingnya. turbin ini dioperasikan di daerah dengan head yang relatif rendah dengan memanfaatkan pusaran dan gravitasi air sehingga dapat menghasilkan perbedaan tekanan pada sumbu. hal ini pertama ditemukan oleh insinyur Austria Franz Zotterer saat mencoba menemukan cara lain mengaginkan air tanpa sumber eksternal. sama seperti namanya, turbin ini memanfaatkan pusaran air untuk memutar sudu, lalu energi pusaran tersebut diubah menjadi energi putar pada poros. dengan proses air yang berasal dari sungai dialirkan melalui saluran inlet ke tanki turbin yang dibawahnya terdapat lubang kecil yang mengakibatkan aliran air menjadi pusaran air. head yang dibutuhkan vortex ini berkisar antara 0,7m – 1m dengan debit berkisar 1000 l/s turbin ini sangat sederhana, dan biaya yang dikeluarkan untuk pembuatannya terbilang sedikit.



Gambar : 2.12 Turbin Vortex

Sumber : <http://draftermania.blogspot.com>

2.12 Konsep dasar perhitungan

1. Potensi Energi Air (E_k)

Potensi energi air selain memanfaatkan air jatuh, energi air juga dapat diperoleh dari aliran air datar. Dalam hal ini energi yang tersedia merupakan energi kinetik (Yusri, 2004).

$$E_k = 1/2m v^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

E_k = Energi kinetik (joule)

V = Kecepatan aliran sungai (m/s)

m = massa air (Kg)

2. Kecepatan Air (m/s)

$$V = \frac{S}{t} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

V = kecepatan air (m/s)

S = Panjang saluran (m)

t = waktu (s)

3. Perumusan Debit Air (Q)

$$Q = A \times V \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

A = Luas penampang yang dilalui air (m^2)

V = kecepatan Air (m/s)

Q = Debit air (m/s)

4. Jarak antar sudu (D_r)

Perhitungan untuk mendapatkan jarak antar sudu yang dibutuhkan untuk memutar kincir berdasarkan konstruksi kincir dan rancangannya serta nilai rata-ratanya (D_r) adalah:

$$D_r = \frac{D_1 + D_2}{2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

D_r = Diameter rata-rata (m)

D_1 = Diameter luar Kincir (m)

D_2 = Diameter dalam kincir (m)

5. Kecepatan Keliling kincir (U_i)

Besarnya kecepatan keliling kincir dapat dihitung melalui persamaan (Nababan 2012) :

$$U_i = \frac{V_1 \times \cos a_1}{2} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

U_i = Kecepatan Keliling Kincir (m.s)

V = Kecepatan air (m/s)

a_i = Kemiringan Sudu 20°

6. Putaran Kincir (n)

$$n = \frac{60 \times U_i}{\pi D_1} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

n = Putaran kincir (rpm)

U_i = Kecepatan keliling kincir (m/s)

D_1 = Diameter luar kincir (m)

7. Jumlah sudu yang aktif (i)

$$N(\text{dalam rps}) = \frac{n(\text{dalam rpm})}{60} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$I = n(\text{dalam rps}) \times Z \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

I = Jumlah sudu yang aktif

Z = Jumlah sudu kincir

8. Kapasitas Air yang diterima oleh tiap-tiap sudu (q)

$$q = \frac{Q}{i} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

q = Kapasitas air (m³/s)

I = Jumlah sudu yang aktif

9. Gaya Tagesinal (F)

$$F = m.V \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

F = Gaya (N)

m = Massa air (kg)

V = Volume (m³)

10. Torsi (τ)

Untuk mengetahui energi kincir air yang tersedia, terlebih dahulu menghitung parameter perumusan torsi antara lain :

$$\tau = F \times r \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

τ = Torsi (Nm)

$F =$ Gaya tangesial (N)

$r =$ Jari-jari kincir (m)

11. Energi pada kincir air (P_{kincir})

Perhitungan untuk mengetahui energi yang tersedia pada kincir air ialah sebagai berikut :

$$P_{\text{kincir}} = \tau \times \omega \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

$\tau =$ Torsi (N/m)

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60}$$

12. Efisiensi (η)

$$\eta = \frac{P_t}{P_{\text{air}}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

$\eta =$ Efisiensi (%)

$P_t =$ Daya roda air (Watt)

$P_{\text{air}} =$ Daya air (Watt)