

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Air**

Air merupakan salah satu sumber energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Salah satu penggunaan energi air yang sangat esensial adalah manfaatnya untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah pembangkit yang mengandalkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik. PLTA memanfaatkan aliran air untuk dapat memutar turbin. Mekanisme kerja PLTA cukup sederhana, yaitu memanfaatkan energi potensial dan kinetik air untuk menghasilkan putaran pada turbin. Air dikumpulkan pada suatu area (*reservoir*) yang berada pada ketinggian tertentu. Turbin yang menjadi komponen utama untuk menghasilkan energi listrik terletak di dalam bangunan *powerhouse* yang berada pada ketinggian yang lebih rendah dari *reservoir*. Saluran air (*penstock*) menghubungkan *reservoir* dengan *powerhouse*. Adanya perbedaan ketinggian antara *reservoir* dan *powerhouse* memungkinkan air mengalir di dalam saluran air dari *reservoir* menuju *powerhouse*. Di dalam *powerhouse*, aliran air dari *reservoir* tadi mengakibatkan turbin air yang telah terhubung ke generator berputar, sehingga dapat menghasilkan listrik. Semakin tinggi jatuh air maka semakin besar energi potensial air yang diubah menjadi energi listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Air termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean* energi karena ramah lingkungan. PLTA dipilih karena konstruksinya yang sederhana, mudah dioperasikan serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Jika dibandingkan dengan pembangkit listrik yang lain, PLTA dalam pengoperasiannya memiliki beberapa kelebihan yaitu tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca. Adapun beberapa kekurangan yang dimiliki PLTA yaitu di beberapa lokasi aliran sungai sangat bergantung pada musim dan ini dapat membatasi *output* daya dan tiap lokasi memiliki keadaan yang bersifat unik. Karena itu, perencanaan PLTA yang optimal untuk tiap lokasi tidak bisa disamakan.

Berdasarkan *output* yang dihasilkan, Pembangkit Listrik Tenaga Air dibedakan menjadi 6 jenis [20]:

- a. *Large-hydro* : lebih dari 100MW
- b. *Medium-hydro* : antara 15 – 100 MW
- c. *Small-hydro* : antara 1 – 15 MW
- d. *Mini-hydro* : daya diatas 100 kW, tetapi dibawah 1 MW
- e. *Micro-hydro* : antara 5 kW – 100 kW
- f. *Pico-hydro* : daya yang dihasilkan kurang dari 5kW

Prinsip kerja dari 6 jenis PLTA tersebut adalah sama yaitu perubahan tenaga potensial menjadi tenaga listrik. Perubahan energi tersebut tidak terjadi secara langsung, tetapi berturut-turut melalui perubahan sebagai berikut:

1. Energi potensial menjadi energi kinetik,
2. Energi kinetik menjadi energi mekanik,
3. Energi mekanik menjadi energi listrik,

Tenaga potensial adalah tenaga air karena posisi air berada pada ketinggian. Energi kinetik adalah tenaga air karena air mempunyai kecepatan. Energi mekanik adalah tenaga kecepatan air yang terus memutar turbin. Energi listrik adalah hasil dari generator yang berputar akibat berputarnya turbin.

## 2.2 Head

*Head* merupakan perbedaan ketinggian permukaan cairan pada sisi *inlet* dan sisi *outlet*, *Head* bersih adalah selisih antara *head* ketinggian kotor dengan *head* kerugian di dalam sistem pemipaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro. *Head* kotor (*gross head*) adalah jarak vertical antara permukaan air sumber dengan ketinggian air keluar saluran turbin (*tail race*) untuk turbin reaksi dan keluar nozel untuk turbin impuls [16].

## 2.3 Debit

Debit aliran air adalah volume air yang mengalir atau melewati suatu penampang dalam satuan waktu tertentu. Dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Pengukuran debit aliran dapat dilakukan dengan mengukur waktu tempuh pelampung terhadap jarak tertentu yang ditentukan. Dari

besaran jarak dan waktu kita dapat menghitung kecepatan air. Metode pengukuran kecepatan aliran air dengan menggunakan pelampung hanya mengukur kecepatan pada permukaan air sehingga diperlukan modifikasi (mengisi pelampung dengan air agar massa jenisnya hampir sama dengan air sehingga melayang) agar kecepatannya bisa mewakili seluruh luas penampang. Dengan menggunakan cara lain pengukuran kecepatan aliran air dapat menggunakan alat ukur yang bernama *current meter*.

#### **2.4 Pipa Pesat (*Penstock*)**

Saluran atau terowongan yang menghubungkan bak penampung air sebagai sumber air ke turbin pembangkit listrik. Pipa pesat sebagai sarana distribusi air dari sungai atau perairan ke ruang generator harus memiliki ketahanan yang baik terhadap tekanan dan pemantauan sambungan pipa secara insentif sehingga pipa pesat tidak dapat bocor.

#### **2.5 Turbin Air**

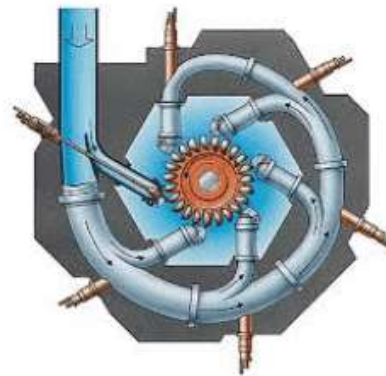
Turbin merupakan komponen yang berperan penting sebagai pengkonversi energi untuk bisa membangkitkan energi listrik pada alat Pembangkit Listrik Tenaga Air. Turbin air dapat didefinisikan sebagai turbin dengan media kerja air. Secara umum turbin adalah alat mekanik yang terdiri dari poros dan sudu-sudu. Sudu putar (*rotary blade*) mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga timbul gaya yang memutar poros. Putaran poros ini dapat dimanfaatkan untuk memutar generator sebagai pembangkit tenaga listrik. Klasifikasi turbin air yang digunakan dalam PLTA dibedakan menjadi dua kelompok yaitu :

- 1) Turbin reaksi adalah turbin air yang cara kerjanya dengan merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi putar dengan *runner* turbin sepenuhnya tercelup didalam air dan berada dalam rumah turbin. Turbin jenis ini digunakan untuk aplikasi turbin dengan *head* rendah dan medium. Jenis turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini yaitu turbin Francis dan turbin Kaplan.
- 2) Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya dengan merubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial, tekanan, kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nozel. Air keluar nozel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur

sudu turbin. Setelah membentur sudu, arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impuls*) yang mengakibatkan roda turbin akan berputar. Jenis turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini yaitu turbin Pelton, turbin Turgo, turbin *Cross-Flow*.

### 2.5.1 Turbin Pelton

Turbin Pelton merupakan jenis turbin impuls dengan menggunakan *head* yang besar. Terdiri dari satu set *runner* yang berisi sudu dipasang secara sejajar pada *disk*. Turbin ini diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih nozel. Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Tekanan air diubah menjadi kecepatan, pancaran air akan mengenai bagian tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke dua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik. Prinsip kerja turbin Pelton ini yaitu merubah gaya potensial air menjadi gaya mekanis yang terjadi akibat reaksi impuls pada *runner* turbin yang menyebabkan *runner* turbin dapat berputar selama ada pancaran air yang menyemprot sudu.



Gambar 2. Bentuk Turbin Pelton

### 2.5.2 Turbin Francis

Turbin Francis merupakan turbin jenis reaksi yang bekerja karena tekanan pada roda turbin yang mengakibatkan roda turbin berputar dimana aliran air melalui rumah keong yang diarahkan dengan sudu pengarah menuju sudu jalan dari roda turbin. Prinsip kerja dari turbin Francis ialah memanfaatkan energi jatuh air untuk memutar roda turbin. Roda turbin berputar dikarenakan cairan yang ada diantara sudu roda turbin memiliki energi mekanis, partikel cairan ini memiliki kecepatan keliling dengan arah menyinggung

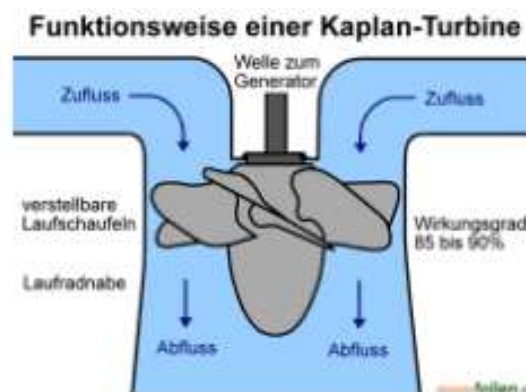
lingkaran. Akibatnya, timbulah gaya sentrifugal. Dengan meningkatnya gaya sentrifugal membuat partikel cairan bergerak menuju pusat dari roda turbin dengan kecepatan relative yang arahnya menyinggung permukaan sudu.



Gambar 3. Bentuk Turbin Francis

### 2.5.3 Turbin Kaplan

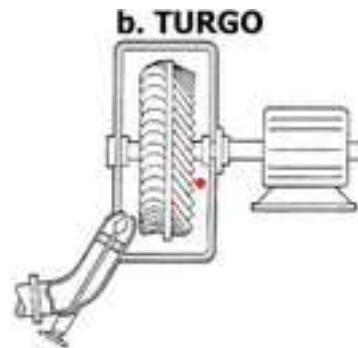
Turbin Kaplan merupakan evolusi dari turbin Francis. Penemuan ini memungkinkan produksi daya yang efisien dalam aplikasi *head* rendah yang tidak mungkin dilakukan dengan turbin Francis. *Head* berkisar dari 10 hingga 70 meter dan *output* berkisar dari 5 hingga 200 MW. Diameter runner antara 2 dan 11 meter. Turbin Kaplan sekarang banyak digunakan di seluruh dunia dalam produksi daya aliran tinggi dan *head* rendah.



Gambar 4. Bentuk Turbin Kaplan

### 2.5.4 Turbin Turgo

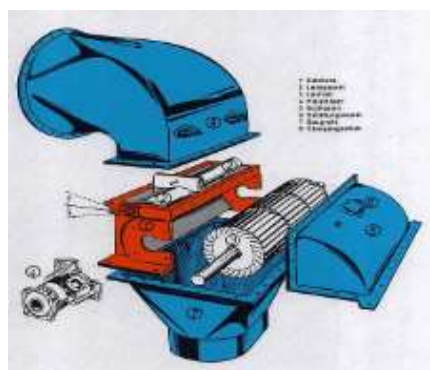
Turbin turgo adalah turbin bertipe impuls yang dapat digunakan pada *head* 30 m hingga 300 m, semburan air dari nozel diatur dengan sudut  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$  dari sudu turbin, yang membedakan turbin turgo dan turbin pelton adalah pada sudunya. Keuntungan dan kerugian turbin turgo sama dengan turbin pelton.



Gambar 5. Bentuk Turbin Turgo

### 2.5.5 Turbin *Cross-Flow*

Turbin *Cross-Flow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin impuls. Pemakaian jenis turbin *Cross-Flow* lebih menguntungkan dibandingkan dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikrohidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan sampai 50% dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran turbin *Cross-Flow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air.



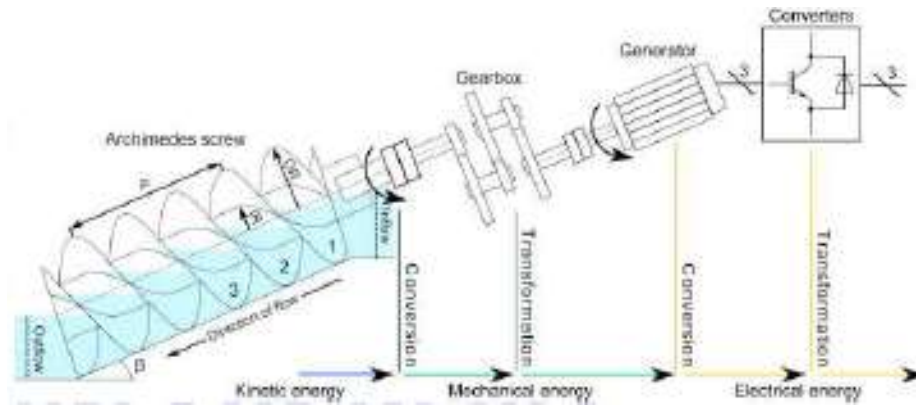
Gambar 6. Bentuk Turbin *Cross-Flow*

### 2.5.6 Turbin Ulir (*Archimedes Screw*)

Turbin *Archimedes Screw* merupakan salah satu jenis turbin yang digunakan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hidro (PLTMH) ataupun Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hidro (PLTPH). Turbin ulir berasal dari konsep kuno oleh ahli matematika dan fisika Archimedes (287 – 212 SM). Selain dikenal dengan turbin ulir, turbin ini juga disebut sekrup Archimedes (*Archimedes screw*). Sekrup ini mula-mula ditujukan untuk menaikkan air untuk keperluan irigasi dan drainase. Pada perkembangan selanjutnya, turbin jenis ini mulai digunakan sebagai penghasil tenaga listrik. Turbin ulir berbeda dengan turbin tipe reaksi dan impuls, meskipun ada kesamaan yaitu bertujuan mengubah energi aliran air menjadi energi gerak rotasi dan selanjutnya berubah menjadi energi listrik. Mayrhofer menyatakan turbin ulir lebih cocok dipakai untuk tinggi tenaga (*head*) rendah atau beda elevasi antara hulu dan hilir aliran rendah bahkan nol [13]. Keunggulan dari turbin ulir ini adalah ramah lingkungan, karena tidak mengganggu ekosistem air dan mempunyai efisiensi yang cukup tinggi. Keuntungan dari penggunaan turbin ulir antara lain:

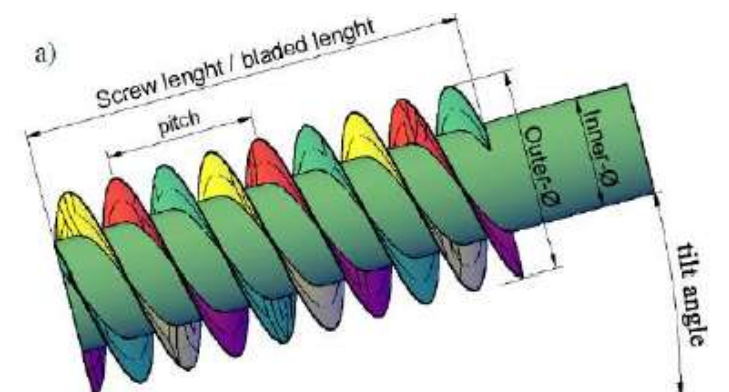
- a. Efisiensi tinggi
- b. *Simple* dan *reliable*
- c. Ekosistem ikan tidak terganggu
- d. Jika digunakan dalam rpm rendah, umur turbin akan bertahan lama
- e. Perawatan yang mudah
- f. Pengoperasian yang mudah dan biaya yang murah
- g. Baik dikembangkan pada daerah yang memiliki sumber air dengan debit yang cukup besar (sungai) namun hanya memiliki head yang rendah

Gambar 7 memperlihatkan skema dari pembangkit listrik tenaga air dengan menggunakan turbin ulir, Prinsip kerja dari turbin ini dimana tekanan dari air yang melalui bilah-bilah sudu turbin mengalami penurunan tekanan sejalan dengan penurunan kecepatan air akibat adanya hambatan dari bilah – bilah sudu turbin maka tekanan ini akan memutar turbin dan mengerjakan generator listrik.



Gambar 7. Skema Pembangkit Listrik Menggunakan Turbin Ulir

Turbin ulir merupakan “salah satu turbin yang sangat spesial karena dapat beroperasi pada daerah yang memiliki *head* yang sangat rendah. Pada penggunaan turbin ulir ini posisi sudutnya tergantung dari kondisi *head* yang ada di lapangan. Turbin ulir bekerja pada *head* rendah dengan ketinggian air jatuh antara 1 – 15m. Sudut untuk penentuan *head* turbin atau kemiringan poros turbin berada antara  $30^{\circ}$ - $60^{\circ}$ . Bentuk turbin dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Parameter Bentuk Turbin Ulir

Turbin air tipe ulir dibagi dalam dua jenis yaitu tipe *steel trough* dan tipe *closed compact instalation*. Turbin ulir tipe *steel trough* seperti Gambar 9 adalah tipe turbin yang pada bagian sudu atau *bladenya* terbuka, sehingga air yang mengalir ke sudu turbin hanya selebar *bucket*. Sedangkan untuk turbin ulir tipe *closed compact installation* seperti Gambar 10 merupakan jenis turbin yang memiliki instalasi keseluruhannya tertutup. Pada turbin tipe ini memungkinkan air yang mengalir menuju sudu turbin hampir bisa memenuhi bagian yang menutupi instalasi turbin.





Gambar 9. Turbin Ulir Tipe *Steel Strough*



Gambar 10. Turbin Ulir Tipe *Closed Compact Installation*

## 2.6 Potensi Air

Ketinggian dan luas daerah jatuhnya air menjadi salah satu peluang munculnya energi potensi pada air, dengan adanya gravitasi maka potensi air tersebut jatuh ke permukaan yang lebih rendah dengan perubahan ke energi kinetik, potensi air tersebut dapat diambil dari aliran air sungai dan aliran air daerah pegunungan dibantu dengan penempatan pipa pesat untuk distribusi air kedaerah lebih rendah. Aliran air yang jatuh dengan debit  $Q$  ( $m^3/s$ ) mengenai kincir yang kemudian menggerakkan turbin air akan menghasilkan daya listrik.

## 2.7 Generator

Generator merupakan alat untuk merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan melalui adanya medan magnet yang diputar melalui rotor

dan akan menimbulkan medan magnet yang timbul disisi stator. Kemudian medan magnet yang terjadi di stator dengan pola-pola tertentu akan menimbulkan arus listrik yang mengalir dikumparan stator yang dialirkan melalui saluran transmisi sebagai arus listrik.

Semakin besar putaran generator maka semakin besar energi listrik yang didapat dan semakin besar energi kinetis yang diperlukan untuk memutarnya. Beban yang terpasang merupakan beban listrik yang digunakan sebagai media penerangan. Generator merupakan salah satu mesin listrik, untuk mengubah energi gerak atau mekanik menjadi energi listrik. Generator terdiri atas dua bagian utama yaitu kumparan jangkar dan kumparan medan yang ditempatkan pada stator dan rotor. Stator merupakan bagian yang diam sedangkan rotor merupakan bagian yang bergerak.

Generator sinkron merupakan mesin listrik arus bolak balik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus bolak-balik. Energi mekanik diperoleh dari penggerak mula (*primemover*) yang terkopel dengan rotor generator, sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang melibatkan kumparan rotor dan kumparan stator. Mesin listrik arus bolak-balik ini disebut sinkron karena rotor berputar secara sinkron atau berputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan medan magnet putar.

Jenis generator yang digunakan pada perencanaan PLTA dapat berupa:

1. Generator sinkron, sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) dengan penggunaan dua tumpuan bantalan (*two bearing*).
2. Induction Motor sebagai Generator (IMAG) sumbu vertikal, pada perencanaan turbin propeller open flume Efisiensi generator secara umum adalah :
  - Aplikasi < 10 KVA efisiensi 0.7 – 0.8
  - Aplikasi 10 – 20 KVA efisiensi 0.8 – 0.85
  - Aplikasi 20 – 50 KVA efisiensi 0.85
  - Aplikasi 50 – 100 KVA efisiensi 0.85 – 0.9
  - Aplikasi >100 KVA efisiensi 0.9 – 0.95

## **2.8 Inverter**

*Inverter* yaitu pertukaran tegangan DC dari akumulator dijadikan tegangan AC dalam bentuk sinyal sinus yang sesudah itu melalui pembentukan gelombang dan sederetan filter. Tegangan output mengeluarkan amplitudo stabil baik pada tegangan

maupun frekuensi tegangan yang dihasilkan. Tegangan output yang dikeluarkan yaitu 120 V, 220 V dan 115 V. Sumber tegangan input *inverter* yang digunakan adalah battery, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain.

Dalam menentukan *inverter* ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain Kapasitas/daya *inverter* Daya *inverter* harus mampu melayani beban pada kondisi beban puncak. Secara praktis, kapasitas *inverter* dihitung sebesar 1,3 x beban puncak. *Inverter* memiliki beberapa kualitas berdasarkan mutu daya keluarannya. Ada yang sinus murni, *modified square wave* atau *square wave*. Pilihlah yang memiliki kualitas sinus murni agar mampu memberikan suplai bagi seluruh jenis beban. Pada pemilihan *inverter*, diupayakan kapasitas kerjanya mendekati kapasitas daya yang dilayani, hal ini agar efisiensi kerja *inverter* menjadi maksimal.



Gambar 11. *Inverter*

## 2.9 Controller

*Controller* adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah (DC) yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban, *controller* berfungsi untuk mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian karena baterai sudah penuh) dan kelebihan voltase dari generator. Kelebihan voltase dan pengisian akan berdampak mengurangi umur baterai.

## 2.10 Baterai

Baterai adalah sebuah sel atau elemen sekunder dan merupakan sumber arus listrik searah yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Baterai berfungsi menyimpan arus listrik sebelum dimanfaatkan beban. Aki termasuk elemen elektrokimia

yang dapat mempengaruhi zat pereaksinya, sehingga disebut elemen sekunder. Spesifikasi baterai yang akan digunakan adalah dengan tipe GS Premium 36B20R (NS40Z), *rated* 12 Volt, *rated current* 35Ah, dimensi 197mm x 129mm x 203mm.



Gambar 12. Baterai