

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-hidro (PLTMH), biasa disebut mikrohidro. *Microhydro* merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang artinya kecil sedangkan hidro yang artinya air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. PLTMH adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai media penggerakannya, misalnya saluran irigasi, sungai atau air terjun alam, dengan cara memanfaatkan tinggi terjunnya (*head*, dalam meter) dan jumlah debit airnya ($m^3/detik$).

Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Klasifikasi umum pembangkit listrik tenaga air dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Tipe	Kapasitas (kW)
Mikro Hidro	< 100
Mini Hidro	101-2.000
Small Hidro	2.001-25.000
Large Hidro	>25.000

Sumber: Arun Kumar, 2008

Dari tabel 1 diatas pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik tenaga air yang memiliki kapasitas <100 kW. PLTMH bisa menjadi salah satu alternatif penyediaan energi listrik yang ramah lingkungan (*clean energy*) yang dapat menjangkau daerah-daerah yang sulit terlistriki.

Di samping faktor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhan air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Air dari *intake* dialirkan ke turbin menggunakan saluran pembawa melalui sebuah pipa pesat (*penstock*) kedalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir

air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. (Effendy, 2009).

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro telah digunakan secara luas sebagai salah satu sumber energi alternatif, khususnya di daerah terpencil dimana sumber energi lain tidak tersedia. PLTMH ini memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar, misalnya dengan ketinggian air 2.5 meter yang menghasilkan listrik 400 Watt. Tenaga air dalam skala kecil dapat dipasang dalam sungai atau aliran air yang kecil dan tidak memerlukan dam atau sistem penampung air musiman, tetapi menggunakan sistem penghentian aliran sungai “*run off the river*”.

Relatif kecilnya energi yang dihasilkan mikrohidro dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya, berimplikasi pada relatif sederhananya peralatan serta kecilnya areal yang diperlukan guna instalasi dan pengoperasian mikrohidro. Hal tersebut merupakan salah satu keunggulan mikrohidro, yakni tidak menimbulkan kerusakan lingkungan. Dengan demikian, sistem pembangkit mikrohidro cocok untuk menjangkau ketersediaan jaringan energi listrik di daerah terpencil dan pedesaan. Beberapa keuntungan yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga listrik mikrohidro adalah sebagai berikut:

- a. PLTMH lebih mudah dalam pengoperasian dan pemanfaatan sumber daya alam yang ramah lingkungan dan tidak pernah habis.
- b. Merupakan sumber energi terbarukan.
- c. Konstruksi bangunan PLTMH sangat sederhana dan dapat digunakan pada daerah terpencil dan memanfaatkan potensi yang ada pada daerah tersebut.
- d. Dapat digunakan pada daerah irigasi atau tempat penampungan air (kolam). (Indriani, Hendra, M, & Herawati, 2013).
- e. Ketersediaan air tergantung kepada kondisi hutan disekitar daerah tersebut dimana kelestarian hutan akan menjamin ketersediaan air.

Kebutuhan akan energi listrik pun dapat diselesaikan dengan membangun PLTMH dan salah satu jenis PLTMH yang digunakan adalah *water wheel turbine*. Dari segi teknologi, PLTMH jenis ini memiliki konstruksi yang masih sederhana, mudah dioperasikan dan kuat, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang, dan menghasilkan tenaga yang sangat murah. Secara

sosial, PLTMH lebih mudah diterima masyarakat luas dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya seperti PLTN. (Damastuti, 1997).

2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah air yang jatuh (debit) perdetik yang ada pada saluran air/air terjun. Energi ini selanjutnya menggerakkan turbin, kemudian turbin kita hubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik. Hubungan antara turbin dengan generator dapat menggunakan jenis sambungan sabuk (*belt*) ataupun sistem *gear box*. Jenis sabuk yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis *flat belt* sedangkan *V-belt* digunakan untuk skala di bawah 20 kW. Selanjutnya listrik yang dihasilkan oleh generator ini dialirkan ke rumah-rumah dengan memasang pengaman (sekring).

Hal yang perlu diperhatikan dalam merancang sebuah PLTMH adalah menyesuaikan antara debit air yang tersedia dengan besarnya generator yang digunakan. Jangan sampai generator yang dipakai terlalu besar atau terlalu kecil dari debit air yang ada. Potensi daya mikrohidro dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = gQH\eta \quad \dots\dots\dots (Arun\ Kumar,2008)$$

Dimana:

P = Daya yang dibangkitkan PLTMH (Watt)

g = gravitasi (9,81 m/s²)

Q = Debit aliran Air (m³/s)

H = beda ketinggian (m)

η = efisiensi sistem PLTMH, efisiensi sistem PLTMH umumnya 0,85

2.3 Klasifikasi Turbin Air

Dengan kemajuan ilmu Mekanika fluida dan Hidrolika serta memperhatikan sumber energi air yang cukup banyak tersedia di pedesaan akhirnya timbullah perencanaan-perencanaan turbin yang divariasikan terhadap tinggi jatuh (*head*) dan debit air yang tersedia. Dari itu maka masalah turbin air menjadi masalah yang menarik dan menjadi objek penelitian untuk mencari sistim, bentuk dan ukuran yang tepat dalam usaha mendapatkan efisiensi turbin yang maksimum.

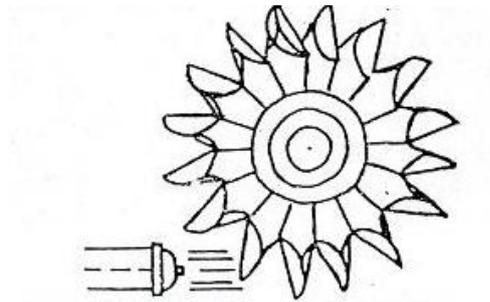
Pada uraian berikut akan dijelaskan pengklasifikasian turbin air berdasarkan beberapa kriteria.

a. Berdasarkan Model Aliran Air Masuk *Runner*.

Berdasarkan model aliran air masuk *runner*, maka turbin air dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu :

1. Turbin Aliran Tangensial

Pada kelompok turbin ini posisi air masuk *runner* dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros *runner* mengakibatkan *runner* berputar, contohnya *Turbin Pelton* dan *Turbin Cross-Flow*.

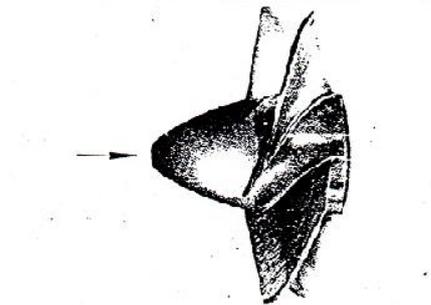


Gambar 1. Turbin Aliran Tangensial

(Sumber : <http://lembagaenergiijau.blogspot.co.id/2011/12/penjelasan-lengkap-tentang.html>, diakses 2 agustus 2017)

2. Turbin Aliran Aksial

Pada turbin ini air masuk *runner* dan keluar *runner* sejajar dengan poros *runner*, *Turbin Kaplan* atau *Propeller* adalah salah satu contoh dari tipe turbin ini.

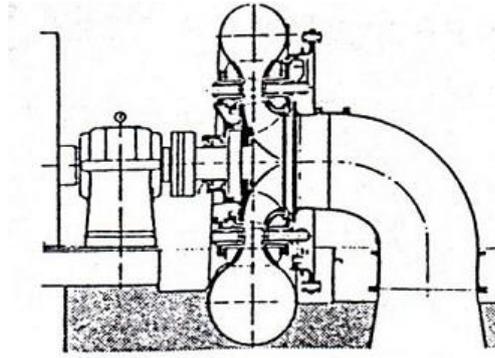


Gambar 2. Model Turbin Aliran Aksial

(Sumber : <http://lembagaenergiijau.blogspot.co.id/2011/12/penjelasan-lengkap-tentang.html>, diakses 2 agustus 2017)

3. Turbin Aliran Aksial - Radial

Pada turbin ini air masuk ke dalam *runner* secara radial dan keluar *runner* secara aksial sejajar dengan poros. *Turbin Francis* adalah termasuk dari jenis turbin ini.



Gambar 3. Model Turbin Aliran Aksial- Radial

(Sumber : <http://lembagaenergi hijau.blogspot.co.id/2011/12/penjelasan-lengkap-tentang.html>, diakses 2 agustus 2017)

- b. Berdasarkan Perubahan Momentum Fluida Kerjanya.

Dalam hal ini turbin air dapat dibagi atas dua tipe yaitu :

1. Turbin Impuls.

Semua energi potensial air pada turbin ini dirubah menjadi menjadi energi kinetis sebelum air masuk/ menyentuh sudu-sudu *runner* oleh alat pengubah yang disebut nozel. Yang termasuk jenis turbin ini antara lain : *Turbin Pelton* dan *Turbin Cross-Flow*.

2. Turbin Reaksi.

Pada turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran *runner* disebabkan oleh perubahan momentum oleh air. Yang termasuk jenis turbin reaksi diantaranya : *Turbin Francis*, *Turbin Kaplan* dan *Turbin Propeller*.

- c. Berdasarkan Kecepatan Spesifik (n_s)

Yang dimaksud dengan kecepatan spesifik dari suatu turbin ialah kecepatan putaran *runner* yang dapat dihasilkan daya efektif 1 BHP untuk setiap tinggi jatuh 1 meter atau dengan rumus dapat ditulis (Nursuhud Djati, 2006) :
diketahui :

$$n_q = n \times \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}}$$

n_q = kecepatan spesifik turbin

Q = Laju aliran volume air

H = tinggi jatuh efektif (m)

n = Putaran poros turbin (rpm)

Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik masing-masing, tabel 2 menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin *kovensional* (Lal, Jagdish, 1975)

Tabel 2. Kecepatan Spesifik Turbin *Konvensional*

No	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
1.	<i>Pelton dan kincir air</i>	10 - 35
2.	<i>Francis</i>	60 - 300
3.	<i>Cross-Flow</i>	70 - 80
4.	<i>Kaplan dan propeller</i>	300 - 1000

(Sumber : www.agussuwasono.com, diakses 28 juli 2017)

2.4 Sudu – Sudu Turbin

Pada bagian permukaan roda turbin yang berputar terdapat sudu-sudu turbin yang bergerak bersama-sama dengan roda turbin, maka sudu-sudu tersebut dinamakan sudu gerak atau sudu jalan. Pada sebuah roda turbin mungkin terdapat beberapa sudu gerak, setiap baris sudu terdiri dari sudu-sudu dengan bentuk dan ukuran yang sama yang disusun melingkar mengikuti roda turbin. Turbin dengan satu baris sudu gerak dinamakan turbin bertingkat tunggal dan turbin dengan beberapa baris sudu gerak dinamakan turbin bertingkat ganda.

Pada turbin bertingkat ganda, fluida bekerja mengalir melalui baris sudu yang pertama, kemudian baris kedua, ketiga dan seterusnya. Fluida kerja pada turbin bertingkat ganda sebelum mengalir dari satu sudu gerak ke sudu gerak yang lainnya akan melalui baris sudu-sudu yang bersatu dengan rumah turbin. Sudu yang bersatu dengan rumah turbin dan tidak bergerak/berputar dinamakan sudu tetap. Sudu tetap berfungsi mengarahkan aliran fluida kerja masuk ke dalam sudu gerak dan dapat juga berfungsi sebagai nosel. Didalam turbin bertingkat ganda, proses ekspansi dari fluida kerja dilakukan secara bertahap. Jadi, dari satu tingkat ke tingkat berikutnya, dimana satu tingkat terdiri dari satu baris sudu tetap dan satu baris sudu gerak. Tujuan penggunaan turbin bertingkat ganda adalah untuk menaikkan efisiensi.

Adapun beberapa model sudu turbin dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. Sudu – Sudu Turbin
(Sumber : Surbakti,Rio. 2009)

Masing-masing turbin terdiri dari sebuah penggerak (roda turbin) dengan bilah-bilah lengkung atau sudu-sudu yang disusun begitu rupa sehingga air dapat mengalir melalui sudu-sudu ini. Sudu-sudu ini membelokkan air menuju keluar dan dengan demikian menimbulkan tenaga putar bagi seluruh penggerak (roda turbin).

2.4.1 Pengaruh Jumlah Sudu Yang Terbatas

Rancangan konvensional turbin *crossflow* selalu didasarkan pada asumsi jumlah sudu tak berhingga. Hanya beberapa peneliti diketahui mengungkapkan pengaruh jumlah sudu berhingga. Jumlah sudu berhingga mempengaruhi pola aliran dalam rotor. Sudu harus tebal agar mampu menahan gaya – gaya fluida. Sebagai konsekuensinya, hal ini membuat ruang antar sudu menjadi berbeda dari ruang sudu yang terbentuk oleh jumlah sudu tak berhingga.

Rotasi ruang-ruang antar sudu ini membuat *vorteks* yang mempengaruhi cerai dari aliran relatif dari sudu-sudu turbin. Jumlah sudu berhingga juga cenderung menimbulkan cerai jet, dan jumlah-jumlah sudu yang kecil menaikkan kecenderungan ini.

Dalam pertimbangan penting dari desain runner turbin adalah jumlah sudu. Terlalu besar jumlah sudu runner akan meningkatkan kerugian dan biaya pembuatan turbin karena memerlukan material yang lebih banyak. Di sisi lain, sejumlah kecil jumlah sudu runner akan meningkatkan kerugian dengan pemisahan aliran pada sisi belakang jumlah sudu (mafruddin,2016).

2.5 Turbin *CrossFlow*

Turbin tipe ini dibuat pertama kali di Eropa. Nama *Cross-flow* diambil dari kenyataan bahwa air melintasi kedua sudu gerak atau runner dalam menghasilkan putaran (rotasi). Seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903 menemukan prinsip kerja turbin *Cross-flow* namun belum dipatenkan. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin Banki. Prof. Donat Banki adalah nama ahli teknik yang mengembangkan prinsip – prinsip turbin tersebut yaitu turbin ini dilengkapi dengan pipa hisap, dan sebagai akibatnya daya yang dihasilkan turbin, proses kerja dan randemen turbin menjadi lebih baik.

Turbin *Cross-Flow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*). Penemuan turbin ini sangat didasarkan pada usaha untuk mencari jenis turbin baru yang lebih kecil, sederhana dan lebih murah dibandingkan dengan jenis turbin yang lainnya. Sebagai hasilnya, turbin air *Cross-flow* yang hanya memerlukan proses pembuatan yang sederhana.

Turbin air *Cross-flow* sangat terkenal untuk pembangkit daya ukuran kecil hingga sedang. Untuk jangkauan daya yang dapat dihasilkan, turbin air *Cross-flow* telah dapat menggantikan tempat mesin konversi daya air yang lain, seperti kincir air yang sederhana sampai turbin impuls dan reaksi yang rumit pembuatannya.

Pemakaian jenis *Turbin Cross-Flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula 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.

Diameter kincir air yakni roda jalan atau runnernya biasanya 2 meter ke atas, tetapi diameter *Turbin Cross-Flow* dapat dibuat hanya 20 cm saja sehingga bahan-

bahan yang dibutuhkan jauh lebih sedikit, itulah sebabnya bisa lebih murah. Demikian juga daya guna atau efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi dari pada daya guna kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin *Ossberger* Jerman Barat yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70 % sedang efisiensi turbin *Cross-Flow* mencapai 82 % (Haimerl, L.A., 1960).

Tingginya efisiensi *Turbin Cross-Flow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu pada saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan *runner*. Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistim pengeluaran air dari *runner*.

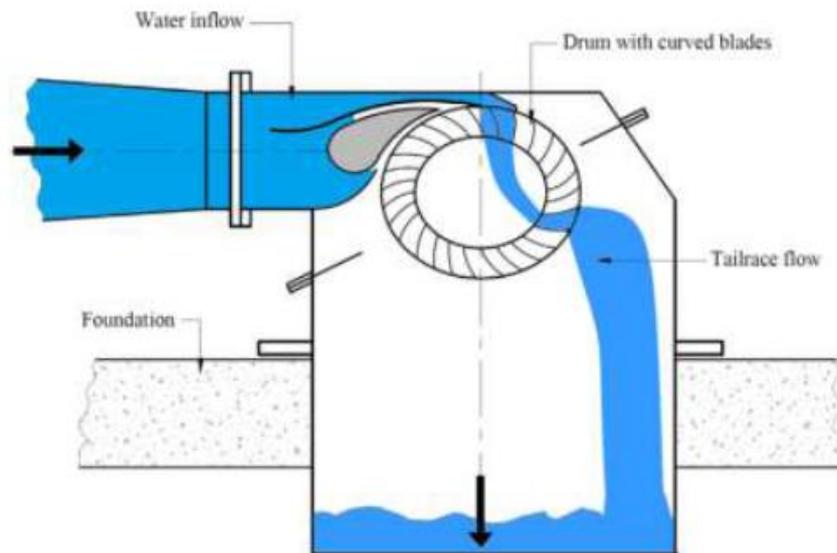
Dari kesederhanaannya jika dibandingkan dengan jenis turbin lain, maka *Turbin Cross-Flow* yang paling sederhana. Sudu-sudu *Turbin Pelton* misalnya, bentuknya sangat pelik sehigga pembuatannya harus dituang. Demikian juga *runner Turbin Francis, Kaplan dan Propeller* pembuatannya harus melalui proses pengecoran/tuang.

Tetapi *runner Turbin Cross Flow* dapat dibuat dari material baja sedang (mild steel) seperti ST.37, dibentuk kemudian dirakit dengan konstruksi las. Demikian juga komponen-komponen lainnya dari turbin ini semuanya dapat dibuat di bengkel-bengkel umum dengan peralatan pokok mesin las listrik, mesin bor, mesin gerinda meja, bubut dan peralatan kerja bangku, itu sudah cukup.

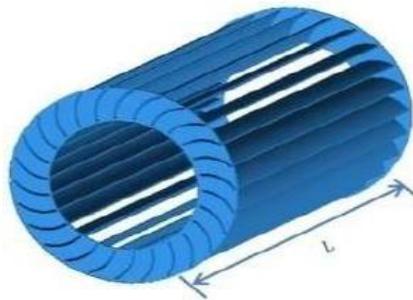
Dari kesederhanaannya itulah maka *Turbin Cross-Flow* dapat dikelompokkan sebagai teknologi tepat guna yang pengembangannya di masyarakat pedesaan memiliki prospek cerah karena pengaruh keunggulannya sesuai dengan kemampuan dan harapan masyarakat.

Selanjutnya Prof. Haimerl (1960) menyatakan pula bahwa setiap unit dari turbin ini dapat dibuat sampai kekuatan kurang lebih 750 KW, dapat dipasang pada ketinggian jatuh antara 01 sampai 200 meter dengan debit air sampai 3.000 liter/detik. Cocok digunakan untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro, penggerak instalasi pompa, mesin pertanian, workshop, bengkel dan lain sebagainya.

Prinsip kerja dari turbin Cross-flow adalah air yang keluar dari nosel masuk ke runner menumbuk sudu-sudu tahap pertama dan kemudian air tersebut keluar dari celah sudu-sudu tahap pertama lalu melewati ruang kosong dalam runner yang selanjutnya menumbuk sudu-sudu tahap kedua dan akhirnya air itu keluar dari celah sudu-sudu tingkat kedua menuju kolam bawah.



Gambar 5. Prinsip Kerja Turbin *Crossflow*
(Sumber : Mafruddin,2016)



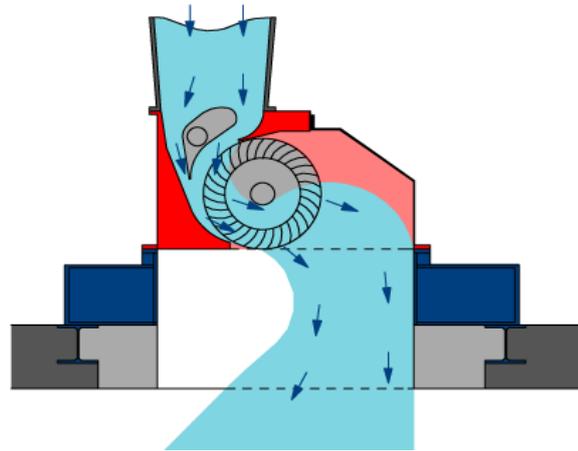
Gambar 6. *Runner* Turbin *Crossflow*
(Sumber : Mafruddin,2016)

2.5.1 Jenis – Jenis Turbin *Cross-Flow*

Menurut arah aliran airnya turbin ini dapat dibedakan atas dua jenis yaitu :

1. Turbin *Crossflow* jenis vertikal

Dimana air dialirkan melalui pipa pesat dengan posisi vertical terhadap rumah turbin dan mendorong karangan sudu hingga roda jalan turbin berputar dan ini berlangsung secara kontinu.

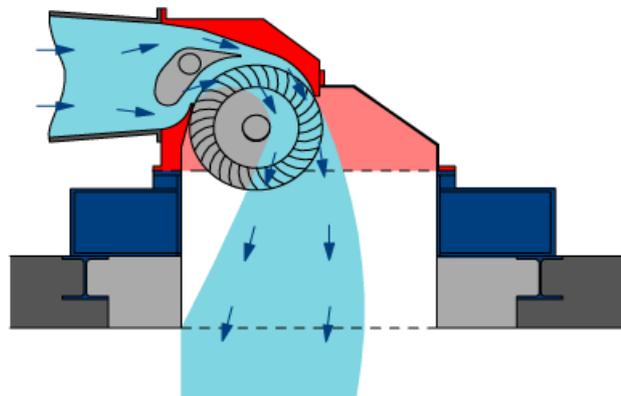


Gambar 7. Turbin *Crossflow* jenis vertikal

(Sumber : <http://cink-hydro-energy.com/id/turbin-crossflow/>, diakses 1 agustus 2017)

2. Turbin *Crossflow* jenis horizontal

Dimana aliran air dialirkan melalui pipa pesat dalam posisi horizontal terhadap rumah turbin dan menyembur / mendorong karang sudu hingga roda jalan turbin berputar.



Gambar 8. Turbin *Crossflow* jenis horizontal

(Sumber : <http://cink-hydro-energy.com/id/turbin-crossflow/>, diakses 1 agustus 2017)

2.5.2 Perencanaan *Runner Turbin Cross-Flow*

Runner merupakan komponen utama pada turbin air Cross-flow, yang proses kerjanya adalah berputaran. Putaran pada runner ini dihasilkan akibat adanya gaya dorong air yang menumbuk kuat pada sudu-sudu runner. Perencanaan atau perhitungan parameter runner turbin cross-flow menggunakan persamaan-persamaan berikut :

a. Diameter luar (D_1) dan lebar sudu turbin (L)

Untuk mengetahui luar runner turbin dapat diperoleh dari prinsip kontinuitas dimana debit dihitung dari luas dan kecepatan fluida, sehingga untuk mengetahui luas runner turbin yaitu :

$$L \times D = \frac{2.62 \times Q}{\sqrt{H}} \quad (\text{mafrudin, dkk. 2014}) \quad (1)$$

Dimana :

H = tinggi jatuh air (m)

Q = debit aliran (m^3/detik)

b. Diameter dalam turbin (D_2)

Untuk menghitung diameter dalam turbin digunakan persamaan berikut

$$D_2 = \frac{2}{3} \times D_1 \quad (\text{mafrudin, dkk. 2014}) \quad (2)$$

c. Jarak antar sudu (K)

Untuk menghitung jarak antar sudu turbin digunakan persamaan berikut :

$$K = 0,174 D_1 \quad (\text{mafrudin, dkk. 2014}) \quad (3)$$

d. Jumlah sudu (n)

Jumlah sudu adalah salah satu pertimbangan penting dari desain runner. Terlalu besar jumlah sudu runner akan meningkatkan kerugian dan biaya pembuatan turbin karena memerlukan material yang lebih banyak. Di sisi lain, sejumlah kecil jumlah sudu runner akan meningkatkan kerugian dengan pemisahan aliran pada sisi belakang jumlah sudu :

$$N = \frac{\pi \times D_1}{K} \quad (\text{mafrudin, dkk. 2014}) \quad (4)$$

e. Jumlah putaran turbin

Untuk menghitung jumlah putaran turbin digunakan persamaan berikut :

$$n = \frac{39,8 \times \sqrt{H}}{D_1} \quad (\text{mafrudin, dkk. 2014}) \quad (5)$$

2.5.3 Daya yang Dihasilkan Turbin *Cross-Flow*

Daya poros turbin adalah hasil dari terkonversinya energi jatuh air oleh turbin menjadi putaran turbin yang dapat menggerakkan generator. Daya poros turbin dapat dihitung dengan rumus :

$$P \text{ turbin} = \tau \times \omega \quad (\text{mafrudin, dkk. 2014}) \quad (6)$$

Dimana :

τ = Momen gaya (Nm)

ω = kecepatan sudut (radian/detik)

P turbin = Daya poros turbin (watt)

Untuk menghitung daya turbin, perlu dihitung terlebih dahulu besarnya momen gaya (torsi). Momen gaya atau biasa disebut dengan torsi merupakan gaya yang dihasilkan dari putaran benda terhadap porosnya untuk menggerakkan benda lain (puli generator).

Dalam sebuah pembangkit listrik khususnya pada turbin crossflow torsi ini sangat dipengaruhi oleh laju aliran massa fluida dan jari-jari turbin. Semakin besar 2 variabel diatas maka torsi yang dihasilkan oleh turbin akan semakin besar. besarnya torsi ini dapat dihiutng dengan menggunakan rumus :

$$\tau = F \times r \quad (\text{mafrudin, dkk. 2014}) \quad (7)$$

Dimana :

F = momentum = $m \times v$ (kg.m/s²)

r = jari-jari turbin (m)

Sedangkan kecepatan sudut dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\omega = 2 \times \pi \times \frac{n}{60} \quad (\text{surbakti, 2009}) \quad (8)$$

Dimana :

n = kecepatan putaran turbin (rpm)

2.5.4 Efisiensi Mekanik Turbin *Crossflow*

Efisiensi turbin secara eksperimen diperoleh dari membandingkan output dan input yang terpakai. Dimana output merupakan daya yang dihasilkan turbin sedangkan input yaitu daya air yang digunakan. Dengan perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh turbin dan daya yang air yang digunakan maka dapat diketahui efisiensi mekanik dari turbin. Efisiensi mekanik turbin juga menandakan keberhasilan dalam suatu pembuatan turbin. Semakin tinggi efisiensi suatu turbin maka semakin baik kualitas dari turbin dalam memanfaatkan energi air. Untuk mengetahui efisiensi mekanik turbin air dapat digunakan persamaan berikut

$$\text{Efisiensi turbin} = \frac{\text{daya mekanik turbin}}{\text{Energi potensial air}} \times 100 \% \quad (\text{mafrudin, dkk. 2014}) \quad (9)$$

2.6 Pompa

Pompa adalah jenis mesin fluida yang berfungsi untuk memindahkan fluida melalui pipa dari satu tempat ke tempat lain. Dalam menjalankan fungsinya tersebut, pompa mengubah energi mekanik poros yang menggerakkan sudu-sudu pompa mejadi energi kinetik dan tekanan pada fluida.

Teori dasar pompa adalah sama dengan teori dasar untuk turbin air. Yang membedakan adalah bahwa pada turbin air, tinggi jatuh air diubah menjadi daya pada poros. Pada pompa, daya pada poros digunakan untuk menaikkan air ke tingkat energi atau tekanan atau tinggi kenaikan yang lebih besar melalui sudu-sudu pada roda jalan. Didalam roda jalan fluida mendapat percepatan sehingga fluida tersebut mempunyai kecepatan mengalir keluar dari sudu-sudu roda jalan. Kecepatan keluar fluida ini kemudian berkurang dan berubah menjadi tinggi kenaikan (H) di dalam sudu-sudu pengarah atau di dalam rumah keong (Nursuhud,Djati.2006)

2.6.1 Jenis – Jenis Pompa

Menurut prinsip kerjanya, pompa diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu:

a. *Positive Displacement Pump*

Merupakan pompa yang menghasilkan kapasitas yang *intermittent*, karena fluida ditekan di dalam elemen-elemen pompa dengan volume tertentu. Ketika fluida masuk, langsung dipindahkan ke sisi buang sehingga tidak ada kebocoran (aliran balik) dari sisi buang ke sisi masuk. Kapasitas dari pompa ini kurang lebih berbanding lurus dengan jumlah putaran atau banyaknya gerak bolak-balik pada tiap satuan waktu dari poros atau engkol yang menggerakkan. Pompa jenis ini menghasilkan *head* yang tinggi dengan kapasitas rendah. Pompa ini dibagi lagi menjadi:

1. *Reciprocating Pump* (pompa torak)

Pada pompa ini, tekanan dihasilkan oleh gerak bolak-balik translasi dari elemen-elemennya, dengan perantaran *crankshaft*, *camshaft*, dan lain-lainnya. Pompa jenis ini dilengkapi dengan katup masuk dan katup buang yang mengatur aliran fluida keluar atau masuk ruang kerja. Katup-katup ini bekerja secara otomatis dan derajat pembukaannya tergantung pada fluida yang dihasilkan. Tekanan yang dihasilkan sangat tinggi, yaitu lebih dari 10

atm. Kecepatan putar rendah yaitu 250 sampai 500 rpm. Oleh karena itu, dimensinya besar dan sangat berat. Pompa ini banyak dipakai pada pabrik minyak dan industri kimia untuk memompa cairan kental, dan untuk pompa air ketel pada PLTU.

2. *Rotary Pump*

Tekanan yang dihasilkan dari pompa ini adalah akibat gerak putar dari elemen-elemennya atau gerak gabungan berputar. Prinsip kerjanya adalah fluida yang masuk ditekan oleh elemen-elemen yang memindahkannya ke sisi buang kemudian menekannya ke pipa tekan. Karena tidak memiliki katup-katup, maka pompa ini dapat bekerja terbalik, sebagai pompa maupun sebagai motor. Pompa ini bekerja pada putaran yang tinggi sampai dengan 5000 rpm atau lebih. Karena keuntungan tersebut, pompa ini banyak dipakai untuk pompa pelumas dan pada *hydraulic power transmission*.

b. *Dynamic Pump*

Merupakan pompa yang ruang kerjanya tidak berubah selama pompa bekerja. Untuk merubah kenaikan tekanan, tidak harus mengubah volume aliran fluida. Dalam pompa ini terjadi perubahan energi, dari energi mekanik menjadi energi kinetik, kemudian menjadi energi potensial. Pompa ini memiliki elemen utama sebuah rotor dengan suatu impeler yang berputar dengan kecepatan tinggi. Yang termasuk di dalam jenis pompa ini adalah pompa aksial dan pompa sentrifugal, antara lain:

1. Pompa Aksial

Prinsip kerja dari pompa ini adalah berputarnya impeler akan menghisap fluida yang dipompakan dan menekannya ke sisi tekan dalam arah aksial. Pompa ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan *head* rendah dan kapasitas tinggi, seperti pada sistem pengairan.

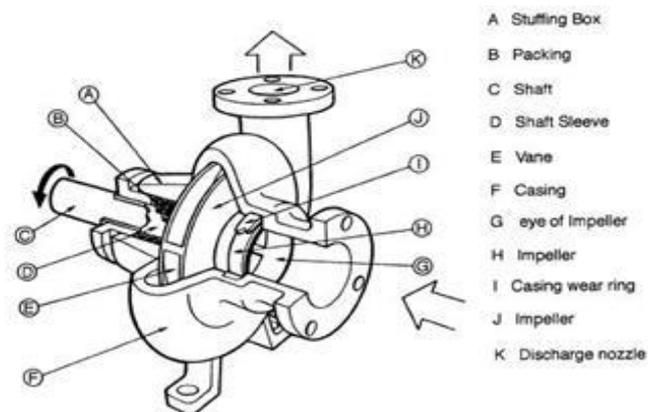
2. Pompa Sentrifugal

Elemen pokok dari pompa ini adalah sebuah rotor dengan sudu-sudu yang berputar pada kecepatan tinggi. Fluida yang masuk dipercepat oleh impeler yang menaikkan tekanan maupun kecepatannya, dan melempar fluida keluar melalui *volute* atau rumah siput. Pompa ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan *head* medium sampai tinggi dengan kapasitas aliran

medium. Dalam aplikasinya, pompa sentrifugal banyak digunakan untuk proses pengisian air pada ketel dan pompa rumah tangga.

Secara garis besar, pompa bekerja dengan cara mengubah energi mekanik dari poros yang menggerakkan sudu-sudu pompa, kemudian menjadi energi kinetik dan tekanan pada fluida. Demikian pula pada pompa sentrifugal, agar bisa bekerja pompa membutuhkan daya dari mesin penggerak pompa. Berputarnya impeler menyebabkan tekanan vakum pada sisi isap pompa, akibatnya fluida yang mengalir terhisap masuk ke dalam impeler.

Di dalam impeler, fluida mendapatkan percepatan sedemikian rupa dan terkena gaya sentrifugal, sehingga fluida mengalir keluar dari impeler dengan kecepatan tertentu. Kecepatan keluar fluida ini selanjutnya akan berkurang dan berubah menjadi energi tekanan di dalam rumah pompa. Besarnya tekanan yang timbul tergantung pada besarnya kecepatan fluida.



Gambar 9. Penampang memanjang pompa sentrifugal

(Sumber: <http://www.processindustryforum.com/article/different-types-pumps-centrifugal-pumps>, diakses 1 agustus 2017)

a. Impeler

Merupakan bagian yang berputar dari pompa dan memberikan daya pada air, sehingga air akan mendapatkan energi spesifik berupa kecepatan dan tekanan. Di dalam rumah siput, kecepatan air secara berangsur-angsur diubah menjadi tekanan statis.

b. Rumah Pompa

Rumah pompa memiliki beberapa fungsi, antara lain:

1. Berfungsi sebagai pengarah fluida yang dilemparkan impeler. Akibat gaya sentrifugal yang menuju pompa tekan, sebagian energi kinetik fluida diubah menjadi tekanan.
2. Menutup impeler pada penghisapan dan pengiriman pada ujung dan sehingga berbentuk tangki tekanan.
3. Memberikan media pendukung dan bantalan poros untuk batang torak dan impeler.

c. Poros Pompa

Sebagai penerus putaran penggerak kepada impeler dan pompa. Poros pompa dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Poros pompa datar atau horizontal
2. Poros pompa tegak atau vertikal

d. Cincin Penahan Keausan atau Cincin Perapat (*Waring Ring*)

Untuk mencegah keausan rumah pompa dan impeler pada sambungan yang bergerak (*running joint*), maka dipasang cincin penahan keausan (*waring ring*) yang disebut juga cincin rumah pompa atau cincin perapat.

e. Bantalan Poros

Bantalan yang banyak dipakai pada pompa sentrifugal adalah bantalan anti gesek, selongsong, rol bola, dan bantalan *kingsbury*. Bantalan anti gesek dapat berupa baris tunggal atau ganda. Bantalan rol banyak dipakai untuk poros pompa berukuran besar.

f. Selongsong Poros

Berfungsi untuk mencegah kebocoran udara ke dalam pompa bila beroperasi dengan tinggi isap (*suction lift*) dan untuk mendistribusikan cairan perapat secara merata di sekeliling ruang cincin (*anular space*) antara lubang peti dan permukaan selongsong poros. Selongsong poros disebut juga sangkar perapat atau cincin *lantern*. Selongsong poros ini menerima cairan yang bertekanan dari pompa atau sumber tersendiri lainnya.

g. Peti Gasket

Berfungsi untuk mencegah udara bocor ke dalam rumah pompa bila tekanan di dalamnya berada di bawah tekanan atmosfer.

h. Perapat Poros (Perapat Mekanis)

Digunakan untuk mencegah kebocoran di sekeliling poros. Perapat poros ini juga dipakai apabila peti gasket tidak dapat mencegah kebocoran secara maksimal. Permukaan perapat tegak lurus terhadap poros pompa dan biasanya terdiri dari dua bagian yang dihaluskan dan dilumasi. Perapat poros dibedakan menjadi dua, yaitu jenis dalam dan jenis luar. Jenis luar dipakai apabila cairan yang dipompa berpasir dan tidak diinginkan adanya kebocoran pada peti gasket sedangkan jenis dalam digunakan untuk cairan yang mudah menguap.

2.6.2 *Jet Pump*

Jet pump adalah pompa yang mempunyai prinsip kerja dimana sebagian debit pompa yang keluar dikembalikan ke saluran isap. Sebagian debit dari pompa sentrifugal akan dikembalikan ke *jet pump* yang nantinya akan digunakan sebagai *primary flow* untuk mendorong fluida pada *secondary flow* ke atas. Nosel merupakan salah satu bagian utama yang perlu diperhatikan dan akan berpengaruh pada efisiensi *jet pump*. Fungsi nosel secara umum adalah untuk meningkatkan kecepatan aliran fluida yang diikuti dengan penurunan tekanan.

Menurut Winoto (2000), efisiensi *jet pump* dipengaruhi oleh bentuk penampang nosel. Dengan berbagai penampang; segitiga, segiempat, dan lingkaran diperoleh efisiensi *jet pump* maksimum pada bentuk penampang lingkaran. Efisiensi *jet pump* sangat dipengaruhi oleh berbagai kondisi dari nosel.

Kecepatan aliran fluida yang meninggalkan nosel semakin besar mengakibatkan terjadinya kevakuman pada ruang isap. Pada *jet pump*, ujung nosel yang terjadi kevakuman dimanfaatkan untuk meningkatkan kemampuan menghisap air. Hal ini akan menyebabkan air akan tersedot naik pada ruang isap. Dengan menambah panjang nosel akan mengurangi kerugian gesek yang nantinya dimanfaatkan untuk meningkatkan kemampuan menghisap air pada *jet pump*.

2.6.3 Prinsip Kerja *Jet Pump*

Pada jet pump, fluida dialirkan melalui nosel dimana arus mengecil karena perubahan penampang nosel, difuser yang membesar secara perlahan ditempatkan didekat mulut nosel dalam ruang isap, karena kecepatan arus yang meninggalkan mulut nosel bertambah besar maka tekanan dalam arus akan turun, demikian pula didalam ruang isap.

Pada difuser kecepatan berkurang sehingga tekanan naik kira-kira mendekati tekanan atmosfer (apabila fluida dibuang menuju atmosfer). Akibat kejadian tersebut maka tekanan dalam ruang isap juga menurun dibawah tekanan atmosfer, istilahnya terbentuk sedikit vakum yang menyebabkan zat cair dari bejana bawah tersedot naik kedalam ruang isap dan terjebak oleh arus fluida yang menyemprot dari mulut nosel.

2.7 Generator

Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bisa berupa listrik AC (listrik bolak-balik) maupun DC (listrik searah). Hal tersebut tergantung dari konstruksi generator yang dipakai oleh pembangkit tenaga listrik.

- a. Generator Arus Searah menghasilkan arus listrik DC karena pada konstruksi dilengkapi dengan komutator, biasanya berfungsi sebagai penguat pada generator utama di bengkel atau industri.
- b. Generator Arus Bolak-Balik menghasilkan arus listrik AC, hal ini disebabkan karena konstruksi pada generator menyebabkan arah arus akan berbalik pada setiap setengah putaran.

Generator digunakan sebagai alat untuk merubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui adanya medan magnet yang diputar melalui rotor dan akan menimbulkan medan magnet yang timbul disisi stator. 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.