

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi 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 ke-19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Pada 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 air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

2.2 Klasifikasi Turbin Air

Turbin air dapat diklasifikasikan berdasarkan penurunan tekanan, yaitu sebagai berikut :

a. Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya merubah seluruh energi air (terdiri dari energi potensial, tekanan dan kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi kinetik. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada *nozzle*. Air yang keluar dari *nozzle* mempunyai kecepatan tinggi, lalu membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu, arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impulse*). Akibatnya, roda turbin akan berputar. Turbin impuls adalah turbin dengan tekanan sama, karena aliran air yang keluar dari *nozzle* tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi dari tempat tinggi dan bertekanan, ketika masuk ke sudu maka jalan turbin akan dirubah menjadi energi kecepatan. Contoh : Turbin Pelton, Turbin Turgo, Turbin *Crossflow* dan Turbin *Screw*.

1) Turbin Pelton

Turbin pelton disebut juga turbin impuls atau turbin tekanan rata atau turbin pancaran bebas. Hal ini dikarenakan tekanan air

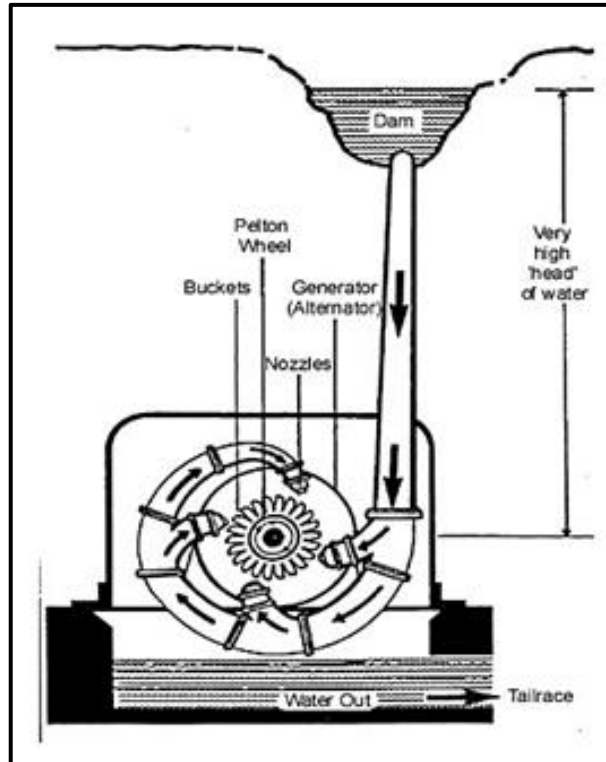
yang keluar dari *nozzle* sama dengan tekanan atmosfer. Dalam instalasi turbin ini, semua energi (geodetik dan tekanan) dirubah menjadi kecepatan yang keluar dari *nozzle*. Energi yang masuk ke dalam roda akan berjalan dalam bentuk energi kinetik. Ketika melewati roda turbin, energi kinetik tadi dikonversikan menjadi kerja poros dan sebagian kecil energi ada yang terlepas dan ada yang digunakan untuk melawan gesekan dengan permukaan sudu turbin.

Turbin pelton biasanya berukuran besar. Hal ini dapat dimaklumi karena turbin tersebut dioperasikan pada tekanan tinggi dan perubahan momentum yang diterima oleh sudu-sudu turbin sangat besar, sehingga dengan sendirinya struktur turbin harus kuat. Pada turbin pelton, semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke sudu maka jalan turbin telah diubah menjadi energi kecepatan.



Gambar 2.1 Turbin Pelton

(Sumber : <https://www.google.com/search?q=turbin+pelton>)



Gambar 2.2 Instalasi Turbin Pelton

(Sumber : <https://www.google.com/search?q=turbin+pelton>)

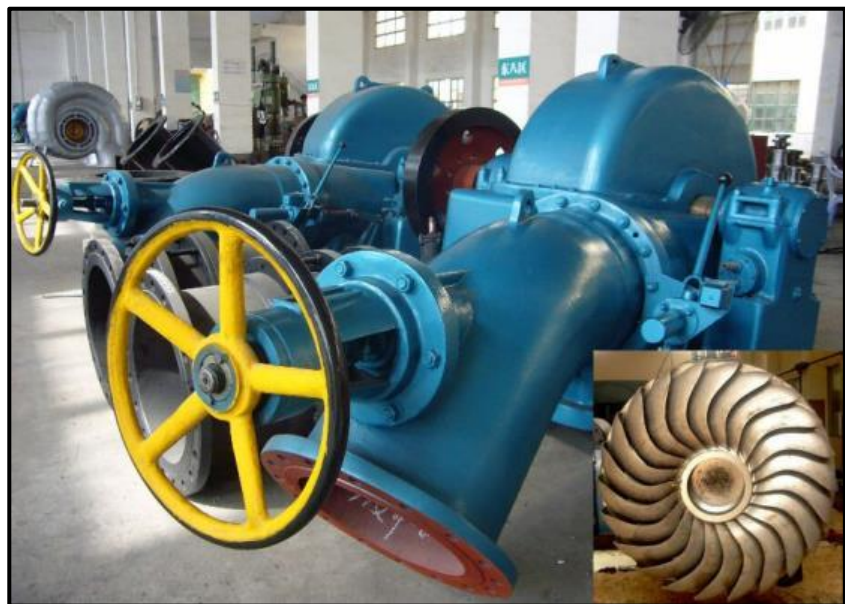
Turbin pelton terdiri dari dua bagian utama yaitu *nozzle* dan roda jalan (*runner*). *Nozzle* mempunyai beberapa fungsi, yakni mengarahkan pancaran air ke sudu turbin, mengubah tekanan menjadi energi kinetik dan mengatur kapasitas kecepatan air yang masuk ke turbin.

Jarum yang terdapat pada *nozzle* berguna untuk mengatur kapasitas air dan mengarahkan konsentrasi air yang terpancar dari mulut *nozzle*. Panjang jarum sangat menentukan tingkat konsentrasi dari air, semakin panjang jarum *nozzle* maka air akan semakin terkonsentrasi untuk memancarkan ke sudu jalan turbin.

Roda jalan pada turbin berbentuk pelek (*rim*) dengan sejumlah sudu disekelilingnya. Pelek ini dihubungkan dengan poros dan seterusnya akan menggerakkan generator. Sudu turbin pelton berbentuk elipsoidal atau disebut juga dengan *bucket* dan ditengahnya mempunyai pemisah air (*splitter*).

2) Turbin Turgo

Turbin turgo dapat beroperasi pada *head* 30 s/d 300 m. Seperti turbin pelton turbin turgo merupakan turbin impuls, tetapi sudunya berbeda. Pancaran air dari *nozzle* membentur sudu pada sudut 20° . Kecepatan putar turbin turgo lebih besar dari turbin pelton. Akibatnya dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan.

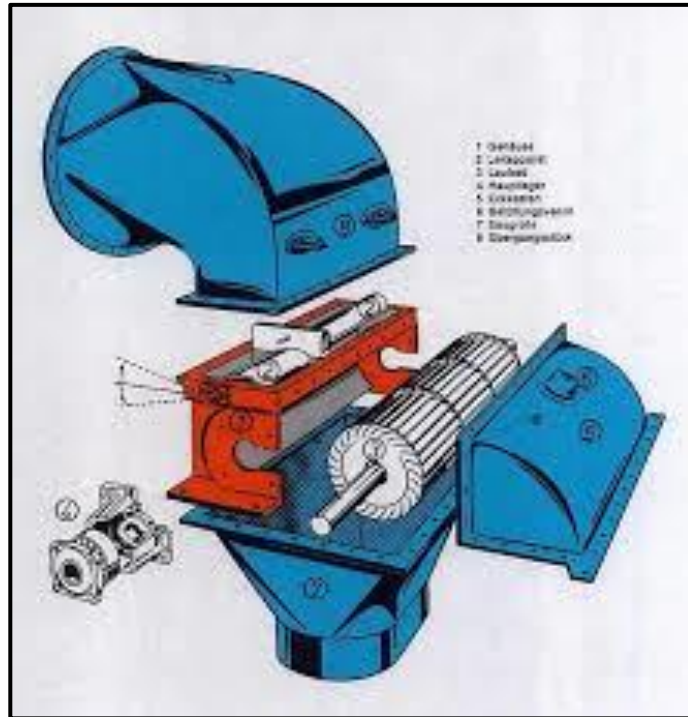


Gambar 2.3 Turbin Turgo

(Sumber : <https://www.google.com/search=turbin+turgo&oq=turbin+turgo&gs1=img>)

3) Turbin *Crossflow*

Salah satu jenis turbin impuls ini juga dikenal dengan nama Turbin *Michell-Banki* yang merupakan penemunya. Selain itu juga disebut Turbin *Osberger* yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin *crossflow*. Turbin *crossflow* dapat dioperasikan pada debit 20 liter/sec hingga $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ dan *head* antara 1 s/d 200 m.



Gambar 2.4 Turbin *Crossflow*

(Sumber : <https://aseppadang.wordpress.com/2009/06/21/karakteristik-turbin-crossflow/>)

Turbin mengalirkan pemasukan air ke sudu turbin secara radial. Air dialirkan melewati sudu-sudu jalan yang membentuk silinder, pertama-tama air dari luar masuk ke dalam silinder sudu-sudu dan kemudian dari dalam ke luar. Jadi kerja roda jalan turbin ini adalah seperti turbin pelton yaitu hanya sebagian sudu-sudu saja yang bekerja mebalikkan aliran air.

Turbin *crossflow* menggunakan *nozzle* persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar *runner*. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) dan kemudian meninggalkan turbin. *Runner* turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.

4) Turbin *Screw*

Turbin *screw* merupakan pembalikan dari fungsi pompa *screw*. Pompa *screw* sendiri ditemukan oleh seorang ilmuwan Yunani yaitu telah lebih dari 21 abad yang lalu dan sampai saat ini pompa ini masih dipakai. Pada awalnya *Archimedes* menciptakan pompa ini bertujuan untuk mengeluarkan air dari bagian dalam kapal. Kemudian *Archimedes* sendiri merancang ulang pompa ini untuk digunakan dalam menaikkan air dari sungai.



Gambar 2.5 Turbin *Screw*

(Sumber : <https://hiveminer.com/Tags/archimedes%2Chydro>)

b. 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. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. *Runner* turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin.

1) Turbin Francis

Turbin francis merupakan jenis turbin tekanan lebih. Sudunya terdiri atas sudu pengarah dan sudu jalan, yang keduanya terendam dalam air. Perubahan energi terjadi seluruhnya dalam sudu pengarah dan sudu gerak, dengan mengalirkan air ke dalam sebuah terusan atau dilewatkan ke dalam dengan mengalirkan air ke dalam sebuah cincin yang berbentuk spiral atau rumah keong.



Gambar 2.6 Turbin Francis

(Sumber : <https://www.google.com/search?safe=turbin+francis&oq=turbin+francis&gs1>)

2) Turbin Kaplan

Turbin kaplan merupakan turbin tekanan yang spesial. Sudu jalan turbin kaplan kemurniannya kecil dan pada saluran sudu jalan belokannya kecil. Sudu jalan dapat diatur saat bekerja, kedudukannya dapat diatur dan disesuaikan dengan tinggi jatuh air sehingga sesuai untuk pusat tenaga air pada aliran sungai. Sudu roda jalan turbin kaplan mirip roda *propeller*, yang letak sudunya terpisah jauh satu sama lainnya.



Gambar 2.7 Turbin Kaplan

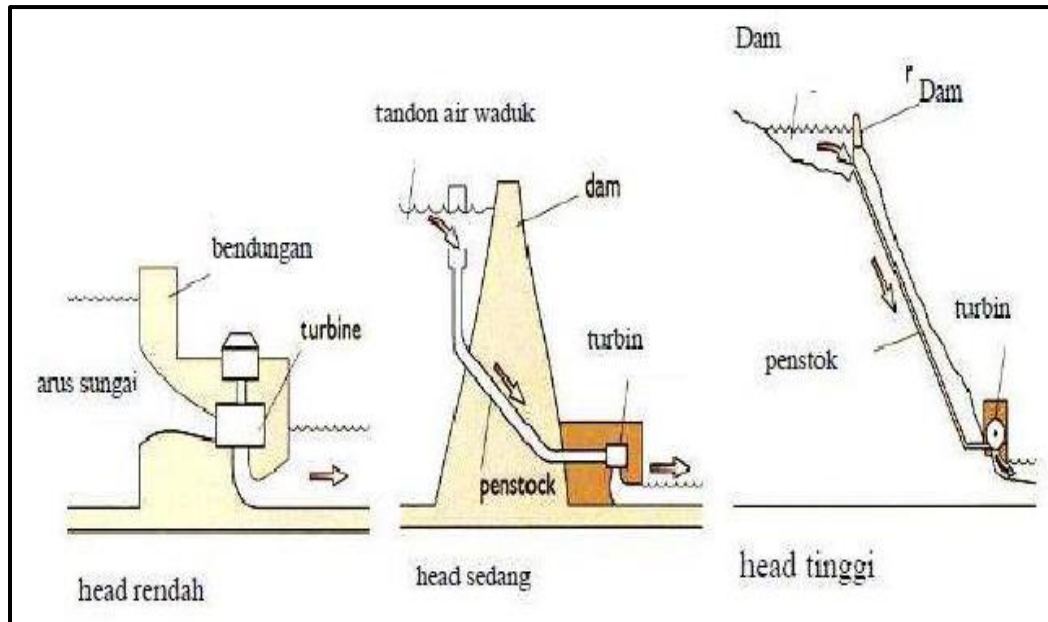
(Sumber : <https://www.google.com/search?safe=turbin+kaplan&o>)

2.3 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin, khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik. Faktor tinggi jatuhan air efektif (*net head*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh : turbin pelton efektif untuk operasi pada tinggi jatuhan air (*head*) tinggi, sementara turbin *propeller* sangat efektif beroperasi pada tinggi jatuhan air (*head*) rendah. Faktor daya (*power*) yang diinginkan berkaitan dengan tinggi jatuhan air (*head*) dan debit yang tersedia (Ismono, 1999).

Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh untuk sistem transmisi *direct couple* antara generator dengan turbin pada *head* rendah, sebuah turbin reaksi (*propeller*) dapat mencapai putaran yang diinginkan, sementara turbin pelton dan *crossflow* berputar sangat lambat (*low speed*) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi. Pada dasarnya daerah kerja operasi turbin menurut (Keller2, 1975) dikelompokkan menjadi tiga yaitu sebagai berikut :

1. *Low head power plant*
2. *Medium head power plant*
3. *High head power plant*



Gambar 2.8 Tingkat *Head* Sumber Air (Vienna, 1981)

(Sumber : <https://www.google.com/search=tingkatan+head+sumber+air+pada+turbin&oq>)

Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu sebagai berikut :

1. Berdasarkan Kecepatan Spesifik (N_s)

Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh untuk sistem transmisi *direct couple* antara generator dengan turbin pada *head* rendah, sebuah turbin reaksi (*propeller*) dapat mencapai putaran yang diinginkan, sementara turbin pelton dan *crossflow* berputar sangat lambat (*low speed*) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi. Faktor tersebut seringkali diekspresikan sebagai "kecepatan spesifik, N_s ", yang didefinisikan sebagai berikut :

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H_{ef}^{5/4}} \dots\dots\dots 1$$

Dimana :

N_s	= kecepatan spesifik turbin (<i>rpm</i>)
N	= kecepatan putaran turbin (<i>rpm</i>)
H_{efs}	= tinggi jatuh efektif (<i>m</i>)
P	= daya turbin <i>output</i> (<i>Hp</i>)

Output turbin ditentukan dengan persamaan berikut (Fox dan Mc Donald, 1995).

$$P = \rho \times Q \times g \times H \times \eta \dots\dots\dots$$

Dimana :

P	= daya turbin (<i>Watt</i>)
ρ	= massa jenis air (kg/m^3)
Q	= debit air (m^3/s)
g	= gaya grafitasi (m/s^2)
H	= <i>head</i> efektif (<i>m</i>)
η	= efisiensi turbin

Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran (*range*) tertentu berdasarkan data eksperimen. Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik masing-masing. Tabel 2.1 menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin konvensional.

Tabel 2.1 Kecepatan Spesifik Turbin Konvensional

No.	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
1.	<i>Pelton dan Kincir Air</i>	$10 \leq N_s \leq 35$
2.	<i>Francis</i>	$60 \leq N_s \leq 300$
3.	<i>Cross-Flow</i>	$40 \leq N_s \leq 200$
4.	<i>Kaplan dan Propeller</i>	$250 \leq N_s \leq 1000$

(Sumber: Penche, C, 1998)

Dengan mengetahui kecepatan spesifik turbin maka perencanaan dan pemilihan jenis turbin akan menjadi lebih mudah. Dengan mengetahui besaran kecepatan spesifik maka dimensi dasar turbin dapat diestimasi (diperkirakan).

2. Berdasarkan *Head* dan Debit

Dalam pemilihan jenis turbin, hal spesifik yang perlu diperhatikan antara lain menentukan tinggi *head* bersihnya dan besar debit airnya. Faktor yang mempengaruhi kehilangan tinggi pada saluran air adalah besar penampang saluran air, besar kemiringan saluran air dan besar luas penampang pipa pesat (Arismunandar dkk, 2004).

Berikut adalah pengertian tentang *head* dan debit :

a. *Head* Bersih (*Net Head*)

Head bersih adalah selisih antara *head* ketinggian kotor dengan *head* kerugian di dalam sistem pemipaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro tersebut. *Head* kotor (*gross head*) adalah jarak *vertical* antara permukaan air sumber dengan ketinggian air keluar saluran turbin (*tail race*) untuk turbin reaksi dan keluar *nozzle* untuk turbin impuls. *Head* kerugian di dalam sistem pemipaan yaitu berupa *head* kerugian di dalam pipa dan *head* kerugian pada kelengkapan perpipaan seperti sambungan, katup, percabangan, *difuser* dan sebagainya.

Head kerugian aliran di dalam pipa (*Major Losses*) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Fox dan McDonald, 1995).

$$h_f = f \left(\frac{L_p \cdot V_p^2}{D_p \cdot 2g} \right) \dots\dots\dots 3$$

Dimana :

- v_p = kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s)
- f = koefisien kerugian gesek
- g = percepatan gravitasi ($9,8 m/s^2$)

Lp = panjang pipa (*m*)
 Dp = diameter dalam pipa (*m*)

a) *Minor Losses*

Head kerugian aliran di dalam sistem kelengkapan pipa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Penche, C, 1998) :

- *Inlet Loss* (h_e)

$$h_e = \frac{f_e \cdot v_p^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots 4$$

Dimana:

h_e = *inlet loss* (*m*)

f_e = keofisien bentuk *inlet*

v_p = kecepatan aliran di *penstock*

- *Valve Loss* (h_v)

$$h_v = \frac{f_v \cdot v_p^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots 5$$

Dimana :

h_v = *valve loss* (*m*)

f_v = keofisien jenis katup (*valve*)

v_p = kecepatan aliran di *penstock*

- *Bend Loss* (*losses* belokan) = h_o

$$h_o = 10\% (h_f + h_e + h_v) \dots\dots\dots 6$$

b) Maka besar total rugi-rugi (*losses*) yang terjadi adalah :

$$\text{Rugi-rugi (Losses)} = \text{Major losses} + \text{Minor losses} \dots\dots\dots 7$$

c) Sehingga nilai *head* bersih setelah dikurangi rugi-rugi adalah sebagai berikut :

$$H_{net} = H_{gross} - \text{Losses} \dots\dots\dots$$

Namun karena *head* kerugian pada kelengkapan pipa kecil maka kerugian ini dapat diabaikan.

Tabel 2.2 Aplikasi Penggunaan Turbin Berdasarkan *Head*

Jenis Turbin	Variasi Head (m)
<i>Kaplan dan Propeller</i>	$2 < H < 20$
<i>Francis</i>	$10 < H < 350$
<i>Pelton</i>	$50 < H < 1000$
<i>Crossflow</i>	$6 < H < 100$
<i>Turgo</i>	$50 < H < 250$

(Sumber: Dietzel, 1989)

b. Kapasitas Aliran (Debit)

Debit aliran adalah volume air yang mengalir dalam satuan waktu tertentu. Debit air adalah tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air. Pengukurannya dilakukan tiap hari, atau dengan pengertian lain yaitu debit atau aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/s). Prinsip pelaksanaan pengukuran debit adalah mengukur luas penampang basah, kecepatan aliran dan tinggi muka air tersebut. Debit dapat dihitung dengan Persamaan berikut (Penche, C, 1998) :

$$Q = A.V \ (m^3/s) \dots\dots\dots 9$$

Dimana :

Q = Debit (m^3/s)

A = Luas bagian penampang basah (m^2)

V = Kecepatan aliran rata-rata pada luas bagian penampang basah (m/s)

Berikut ini pemilihan pengoperasian turbin air berdasarkan *head* dan debit :

- *Head* yang rendah yaitu di bawah 40 m tetapi debit air yang besar, maka turbin *kaplan* atau *propeller* cocok digunakan untuk kondisi seperti ini.
- *Head* yang sedang antara 10 m sampai 200 m dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini gunakanlah turbin francis atau *crossflow*.
- *Head* yang tinggi yakni di atas 200 m dan debit sedang, maka gunakanlah turbin impuls jenis pelton.

3. Besarnya Nilai Efisiensi

- a. 0,8 – 0,85 untuk turbin Pelton
- b. 0,8 – 0,9 untuk turbin Francis
- c. 0,7 – 0,8 untuk turbin *Crossflow*
- d. 0,8 – 0,9 untuk turbin *Propeller* atau *Kaplan*

2.4 Parameter-parameter Turbin Air

Adapun parameter-parameter pada turbin air adalah sebagai berikut :

1. Rasio Kecepatan (Φ)

Rasio kecepatan adalah perbandingan antara kecepatan keliling linier turbin pada ujung diameter nominalnya dibagi dengan kecepatan teoritis air melalui curat dengan tinggi terjun (H_{Neto}) yang bekerja pada turbin.

$$\Phi = \frac{ND}{84.6\sqrt{H}} \dots\dots\dots 10$$

Dimana :

N = putaran turbin (rpm)

D = diameter karakteristik turbin (m)

H = tinggi terjun netto/efektif (m).

2. Kecepatan Satuan (N_u)

Kecepatan satuan adalah kecepatan putar turbin yang mempunyai diameter (D) satu satuan panjang dan bekerja pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

$$N_u = \frac{ND}{\sqrt{H}} \dots\dots\dots 11$$

3. Debit Satuan (Q_u)

Debit yang masuk turbin secara teoritis dapat diandaikan sebagai debit yang melalui suatu curat dengan tinggi terjun (H_{netto}) yang bekerja pada turbin.

$$Q_u = \frac{Q}{D^2\sqrt{H}} \dots\dots\dots 12$$

4. Daya Satuan (P_u)

Daya satuan adalah daya turbin yang mempunyai diameter satu satuan panjang dan bekerja pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

$$P_u = \frac{P}{D^2H^{3/2}} \dots\dots\dots 13$$

5. Kecepatan Spesifik (N_s)

Kecepatan spesifik adalah kecepatan putar turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}} \dots\dots\dots 14$$

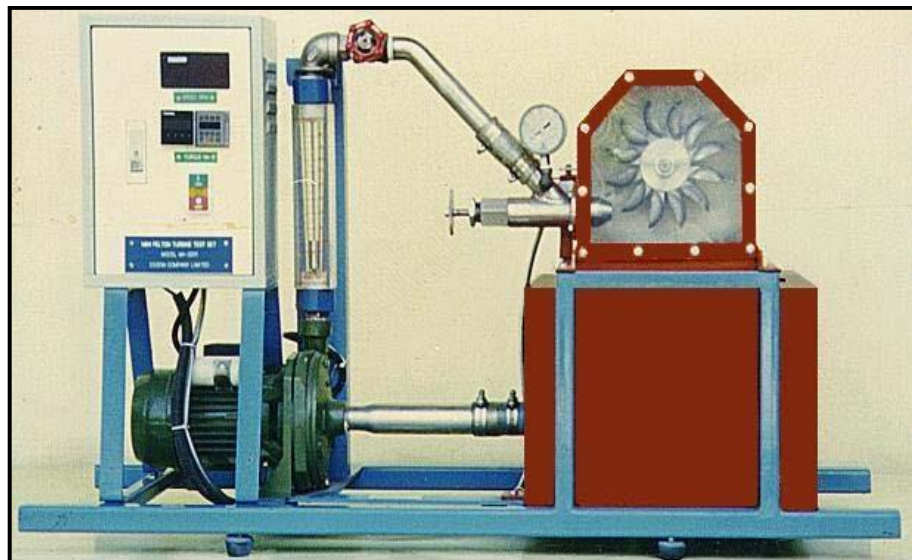
6. Diameter Spesifik (D_s)

Diameter spesifik adalah diameter turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

$$D_s = \frac{D H^{3/4}}{\sqrt{P}} \dots\dots\dots 15$$

2.5 Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan turbin impuls, karena putaran *runner* turbin pelton terjadi akibat pembelokan pancaran air pada mangkok ganda *runner*. Oleh karena itu turbin pelton disebut juga turbin pancaran bebas. Aliran air yang keluar dari *nozzle* tekanannya sama dengan tekanan atmosfer di sekitarnya. Energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk sudu jalan turbin diubah menjadi energi kecepatan.



Gambar 2.9 Turbin Pelton

2.5.1 Cara Kerja Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan suatu alat yang merubah energi kinetik dan energi potensial dari air menjadi energi gerak rotasi pada poros turbin (energi mekanis). Turbin pelton dipakai untuk tinggi air jatuh yang besar. Aliran air dalam pipa akan keluar dengan kecepatan tinggi. Tinggi air jatuh (H) dihitung dari permukaan air di atas sampai ke tengah-tengah pancaran air.

Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Dimaksudkan supaya bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari

gaya-gaya samping. Tidak semua sudu menerima pancaran air, hanya sebagian saja secara bergantian tergantung posisi sudu tersebut. Jumlah *nozzle* pada turbin pelton tergantung pada kapasitas air. Air yang keluar melalui *nozzle* dirubah menjadi energi kinetik dan pancaran air yang tinggi dan akan diterima sudu. Maka energi akan dipindah dari air ke *bucket* sehingga *runner* berputar.

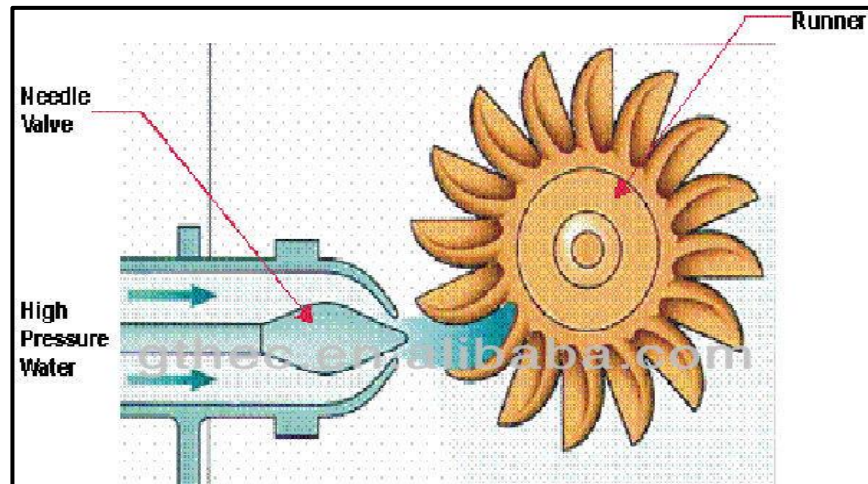
Untuk turbin pelton dengan daya yang kecil bisa diatur dengan hanya menggeserkan kedudukan jarum sudu. Tekanan statis dari tinggi air jatuh menghasilkan tekanan dinamis yang bekerja di aliran air berupa energi kecepatan. Bila aliran air ini dihentikan secara tiba-tiba maka energi kecepatan ini berubah menjadi energi tumbukan. Untuk menghindari tekanan tumbukan kerjanya jarum *nozzle* dibantu dengan perlengkapan yang disebut dengan pembelok pancaran. Pada saat beban turbin berkurang dengan tiba-tiba, pembelok pancaran berayun ke muka jarum *nozzle* lebih dulu, sehingga arah pancaran air dari *nozzle* ke sudu jalan menjadi berbelok. Kemudian baru jarum *nozzle* bergeser memperkecil penampang keluar *nozzle*. Pembelok pancaran akan tetap berada di pinggir pancaran air.

2.5.2 Bagian Utama Turbin Pelton

Pada dasarnya turbin pelton terdiri dari tiga bagian utama, yaitu: *runner*, *nozzle* dan rumah turbin. Turbin pelton juga dilengkapi oleh transmisi, bantalan dan bagian kelistrikan.

1. *Runner*

Runner turbin pelton pada dasarnya terdiri atas piringan dan sejumlah mangkok atau *bucket* yang terpasang di sekelilingnya. Piringan terpasang pada poros dengan sambungan pasak dan *stopper*.



Gambar 2.10 *Runner*

- *Bucket*

Bucket pelton atau biasa disebut sudu, berbentuk dua buah mangkok. *Bucket* berfungsi membagi pancaran menjadi dua bagian. Gaya pada *bucket* berasal dari pancaran air yang keluar dari *nozzle*, yang dibalikkan setelah membentur sudu. Kemudian arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum, gaya inilah yang disebut gaya impuls.

- Poros

Poros merupakan penerus putaran yang terjadi pada *runner*. Poros disambungkan ke *runner* menggunakan pasak. Putaran poros diteruskan ke transmisi sabuk, yang kemudian menuju ke poros generator.

- Piringan

Piringan atau biasa di sebut *disk*, adalah bagian dari *runner*. Bahan *disk* yang baik digunakan adalah bahan yang kuat dan diusahakan seringan mungkin. Piringan berfungsi sebagai tempat *bucket* dipasang.

2. *Nozzle*

Nozzle merupakan bagian dari turbin yang sangat penting, yang berfungsi sebagai pemancar aliran air untuk mengalirkan air ke arah sudu-sudu turbin. Kecepatan air meningkat disebabkan oleh *nozzle*. Air yang

keluar dari *nozzle* yang mempunyai kecepatan tinggi akan membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu, arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum.



Gambar 2.11 *Nozzle* Turbin Pelton

3. Rumah Turbin

Rumah turbin berfungsi sebagai tempat *nozzle* terpasang, serta berfungsi membelokkan air agar keluar secara teratur. Rumah turbin juga berfungsi untuk melindungi *runner* dari gangguan luar contohnya kotoran dan cuaca.

4. *Pulley*

Pulley adalah penerus putaran dari poros turbin ke poros selanjutnya (generator). *Pulley* juga dapat berfungsi untuk menaikkan putaran. *Pulley* biasa disebut transmisi sabuk. Sabuk terbuat dari karet dan mempunyai penampang trapesium.

5. Bantalan

Bantalan merupakan bagian penting dari turbin. Bantalan berfungsi sebagai penopang dari poros turbin. Putaran dari poros turbin dapat berlangsung secara halus, aman dan panjang umur. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros bekerja dengan baik.

6. Kelistrikan

Turbin pelton *mikrohidro* dapat digunakan untuk menggerakkan generator listrik. Untuk itu perlu adanya komponen tambahan yang disebut

generator. Generator berfungsi mengubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik arus bolak-balik. Generator arus bolak-balik sering disebut juga sebagai alternator, generator AC (*alternating current*) atau generator sinkron. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator.

Besarnya arus yang dihasilkan oleh motor induksi tergantung pada besarnya putaran alternator dan kekuatan medan magnet. Alternator menghasilkan listrik dengan prinsip yang sama pada generator DC, yakni adanya arus pengumpan yang disebut arus eksitasi saat terjadi medan magnet disekitar kumparan. Dari alternator dapat di ukur arus (I) dan tegangan keluaran (V) yang kemudian digunakan untuk menentukan besarnya daya yang dihasilkan. Generator memiliki tiga bagian yang penting, yaitu sebagai berikut :

- Rotor

Rotor adalah bagian yang berputar yang menjadi satu dengan poros alternator yang terdapat magnet permanen atau lilitan induksi magnet. Pada rotor terdapat bagian yang berfungsi sebagai kutub magnet yang terletak pada sisi luar dari lilitan. Rotor ditumpu oleh dua buah *bearing*, pada bagian depannya terdapat *pulley*. Rotor berfungsi menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator.

- Stator

Stator adalah bagian yang statis pada alternator yang berupa inti besi yang dibungkus dengan kawat tembaga. Bagian ini berupa lilitan yang berfungsi untuk menghasilkan arus bolak-balik (AC).

- Dioda

Dioda mengkonversi arus bolak-balik yang dihasilkan oleh pasangan rotor dan stator menjadi arus searah.

2.6 Rumus-rumus yang Digunakan

Adapun rumus-rumus yang digunakan pada perancangan turbin pelton ini adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan Daya yang Dihasilkan Turbin

Dari kapasitas air dan tinggi air jatuh dapat diperoleh daya yang dihasilkan turbin yaitu sebagai berikut (Dietzel, 1996, hal. 2) :

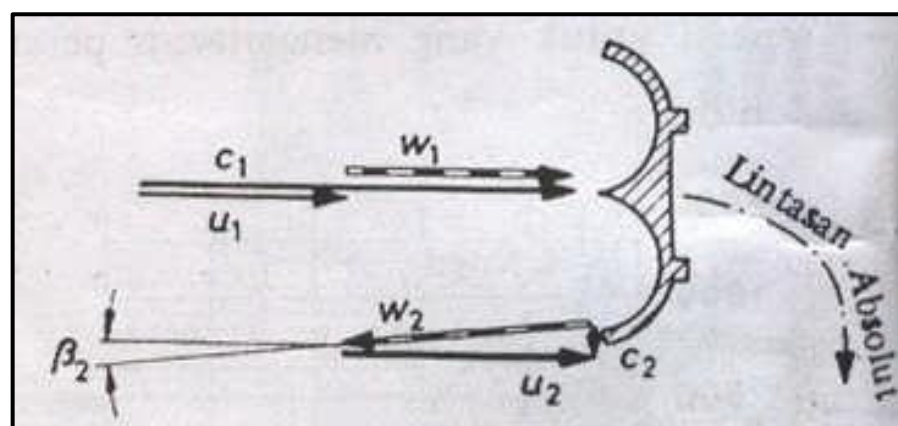
$$P = V \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta_T \dots\dots\dots 16$$

Dengan :

- P = Daya yang dihasilkan turbin (W)
 ρ = Massa jenis air (Kg/m^3)
 g = Percepatan gravitasi (m/s^2)
 V = Debit air (m^3/s)
 H = Tinggi air jatuh (m)
 η_T = Randemen turbin

2. Perhitungan Pancar Air

Pada turbin tekanan sama (turbin impuls) agar mendapatkan randemen yang baik harus mempunyai hubungan antara kecepatan pancar air (c_1) dan kecepatan tangensial (u). Berikut bagan kecepatan turbin pelton terdapat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.12 Bagan Kecepatan Turbin Pelton
(Sumber : Dietzel, 1993, hal. 25)

Kecepatan pancar air (c_1)

$$c_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \dots\dots\dots 17$$

Kecepatan tangensial (u)

$$u = \frac{c_1}{2} \dots\dots\dots 18$$

3. Perhitungan Nozzle

Menghitung luas permukaan pancaran air (A)

$$A = \frac{V}{c_1} \dots\dots\dots 19$$

Sehingga diameter pancar air (d)

$$d = 0.15 \sqrt{\frac{V}{\sqrt{H}}} \dots\dots\dots 20$$

4. Perhitungan Dimensi Turbin

a. Kecepatan Spesifik (n_q)

Kecepatan spesifik merupakan suatu besaran yang penting dalam perencanaan turbin, karena digunakan untuk memilih kecepatan putar turbin. Kecepatan spesifik (n_q) untuk satu *nozzle* dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$n_q = n \frac{\sqrt{V}}{H^{0.75}} \dots\dots\dots 21$$

Dengan :

n = Kecepatan putar turbin (rpm)

$V =$ Kapasitas aliran (m^3/s)

$H =$ Tinggi jatuh air (m)

b. Diameter Roda Rata-rata (D)

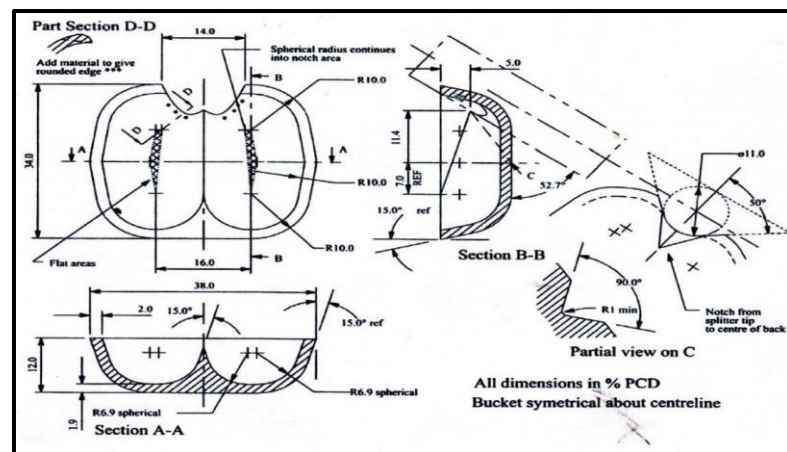
Setelah menentukan kecepatan spesifik didapatlah kecepatan putar turbin. Diameter roda rata-rata dapat ditentukan sebagai berikut:

$$D = \frac{60.u}{\pi.n} \dots\dots\dots 22$$

c. Perbandingan D/d

Dari perhitungan diameter roda rata-rata (D) dan diameter pancar air (d) didapatkan perbandingan D/d. D/d perhitungan dibandingkan D/d pada grafik sehingga dapat diketahui apakah perbandingan D/d memenuhi syarat atau tidak. Dari perbandingan D/d tersebut maka jumlah sudu (z) dapat ditentukan.

d. Perhitungan Dimensi Sudu



Gambar 2.13 Desain *Bucket*
(Sumber : *Thanke*, 2001, hal. 33)

Panjang sudu dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$p = 0,38.D \dots\dots\dots 23$$

Lebar sudu dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$l = 0,34 \cdot D \dots\dots\dots 24$$

Tinggi sudu dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$t = 0,12 \cdot D \dots\dots\dots 25$$

e. Perhitungan Poros

Parameter yang digunakan dalam perhitungan poros adalah sebagai berikut :

P	= Daya yang ditransmisikan (kW)
Fc	= Faktor koreksi (Sularso, 2004, hal. 7)
n	= Putaran poros (rpm)
Pd	= $f_c \times P$ (kW)
T	= Momen puntir rencana (kg.mm)
τ_a	= Tegangan geser yang terjadi
σ_B	= Kekuatan tarik bahan (kg/mm ²)
Sf1 dan Sf2	= Faktor keamanan
Cb	= Faktor Cb nilainya 1,2 sampai 2,3 Jika diperkirakan tidak terjadi pembebanan lentur maka Cb = 1
Kt	= Faktor Kt dipilih 1,0 jika beban dikenakan secara halus. 1,0 – 1,5 jika dikenakan sedikit beban kejutan atau tumbukan, dan 1,5 – 3,0 jika beban kejutan atau tumbukan besar.
ds	= Diameter minimal poros (mm)

Tabel 2.3 Faktor-faktor Koreksi Daya yang akan Ditransmisikan (f_c)

Daya yang akan ditransmisikan	f_c
Daya rata - rata yang diperlukan	1,2 - 2,0

Daya maksimum yang diperlukan	0,8 - 1,2
Daya normal	1,0 - 1,5

$$T = 9,74 \cdot 10^5 \frac{P_d}{n} \dots\dots\dots 26$$

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{(sf_1 \cdot sf_2)} \dots\dots\dots 27$$

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} \cdot Kt \cdot Cb \cdot T \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots 28$$