

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian PLTMH

Mikro hidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (*resources*) penghasil listrik adalah yang memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu serta instalasi. Pembangkit listrik kecil yang dapat menggunakan tenaga air pada saluran irigasi dan sungai atau air terjun alam, dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*, dalam m) dan jumlah debit airnya (m^3/detik) (Riadi, 2016).

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.

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 : *Teacher Manual Diploma Hydro Power*)

Dari Tabel 1 di atas 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.

PLTMH umumnya merupakan pembangkit listrik jenis *run of river* dimana *head* diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, melainkan dengan mengalihkan aliran air sungai ke satu sisi dari sungai tersebut selanjutnya mengalirkannya lagi ke sungai pada suatu tempat dimana beda tinggi yang

diperlukan sudah diperoleh. Air dialirkan ke *power house* (rumah pembangkit) yang biasanya dibangun dipinggir sungai. Air akan memutar sudu turbin/kincir air (*runner*), kemudian air tersebut dikembalikan ke sungai asalnya. Energi mekanik dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator.

Biasanya PLTMH dibangun berdasarkan adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*) sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah *head*. Mikro hidro juga dikenal sebagai *white resources* dengan terjemahan bebasnya yaitu "energi putih". Sebab instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Suatu kenyataan bahwa alam memiliki air terjun atau jenis lainnya yang menjadi tempat air mengalir. Dengan perkembangan teknologi sekarang maka energi aliran air beserta energi dari pengaruh perbedaan ketinggian dengan daerah tertentu (tempat instalasi yang akan dibangun) akan dapat diubah menjadi energi listrik.

Secara teknis, PLTMH memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dengan ketinggian tertentu menuju rumah instalasi (rumah turbin). Di rumah instalasi, air tersebut akan menumbuk turbin dimana turbin akan menerima energi air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan ke generator dengan menggunakan kopling. Dari generator akan dihasilkan energi listrik yang akan masuk ke sistem kontrol arus listrik, sebelum dialirkan ke rumah-rumah atau keperluan lainnya (beban). Begitulah secara ringkas proses PLTMH mengubah energi aliran dan ketinggian air menjadi energi listrik.

Peningkatan kebutuhan suplai daya ke daerah-daerah pedesaan di sejumlah negara, sebagian untuk mendukung industri-industri dan sebagian untuk menyediakan penerangan di malam hari. Kemampuan pemerintah yang terhalang oleh biaya yang tinggi untuk perluasan jaringan listrik, membuat PLTMH memberikan sebuah alternatif ekonomi ke dalam jaringan. Hal ini dikarenakan

skema PLTMH yang mandiri dapat menghemat dari jaringan transmisi, karena skema perluasan jaringan tersebut biasanya memerlukan biaya peralatan dan pegawai yang mahal.

Potensi sumber daya air yang melimpah di Indonesia karena banyak terdapatnya hutan hujan tropis, membuat kita harus bisa mengembangkan potensi ini, karena air adalah sebagai sumber energi yang dapat terbarukan dan alami. Bila hal ini dapat terus dieksplorasi, konversi air menjadi energi listrik sangat menguntungkan bagi negeri ini. Di Indonesia banyak terdapat PLTMH dan waduk untuk menampung air, sekarang bagaimana kita dapat mengembangkan PLTMH menjadi lebih baik lagi dan lebih efisien.

Keuntungan penggunaan PLTMH sebagai pembangkit listrik, (*Abdul Nasir, 2014*) antara lain:

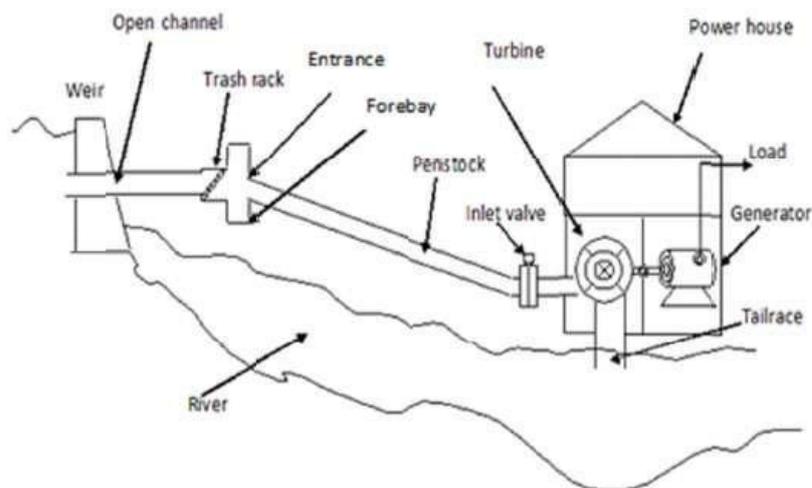
- a. Biaya operasional relatif murah karena berasal dari energi terbarukan sehingga penggunaan turbin sangat menguntungkan untuk penggunaan dalam waktu yang lama
- b. Turbin–turbin pada PLTMH dapat dioperasikan atau dihentikan pengoperasiannya setiap saat
- c. Dengan perawatan yang baik, turbin dapat beroperasi dalam waktu yang cukup lama
- d. Sumber energi yang digunakan adalah energi air sehingga tidak mengakibatkan pencemaran udara dan air

Kekurangan dari penggunaan PLTMH adalah, antara lain:

- a. Masa persiapan suatu proyek PLTMH pada umumnya memakan waktu yang cukup lama sehingga untuk pembuatan memerlukan biaya yang cukup besar
- b. Sumber energi yang digunakan (air) sangat dipengaruhi oleh iklim atau curah hujan.
- c. Pada umumnya dalam sebuah PLTMH terdapat beberapa komponen-komponen besar di antaranya yaitu:

1. Dam/bendungan pengalihan dan *intake*. Dam pengalih berfungsi untuk mengalihkan air melalui sebuah pembuka di bagian sisi sungai ke dalam sebuah bak pengendap.
2. Bak pengendap. Bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air. Fungsi dari bak pengendap adalah sangat penting untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari dampak pasir.
3. Saluran pembawa. Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan.
4. Pipa pesat (*penstock*). *Penstock* dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah roda air, dikenal sebagai sebuah turbin
5. Turbin. Turbin berfungsi mengkonversi energi potensial dan energi kinetik dari air menjadi energi mekanik
6. Generator. Generator berfungsi mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Dimana pemilihan generator disesuaikan dengan daya yang dihasilkan turbin atau sumber daya air yang digunakan.

Secara umum skema PLTMH yang umum digunakan yaitu ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 1. Skema PLTMH

(Sumber: Abdul Nasir, 2014)

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi PLTMH yang cukup tinggi namun dalam pemanfaatannya belum maksimal, sehingga kebutuhan energi masih didominasi oleh energi dengan bahan bakar minyak. Tabel 2 menjelaskan perbandingan kapasitas terpasang PLTMH dengan kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik nasional.

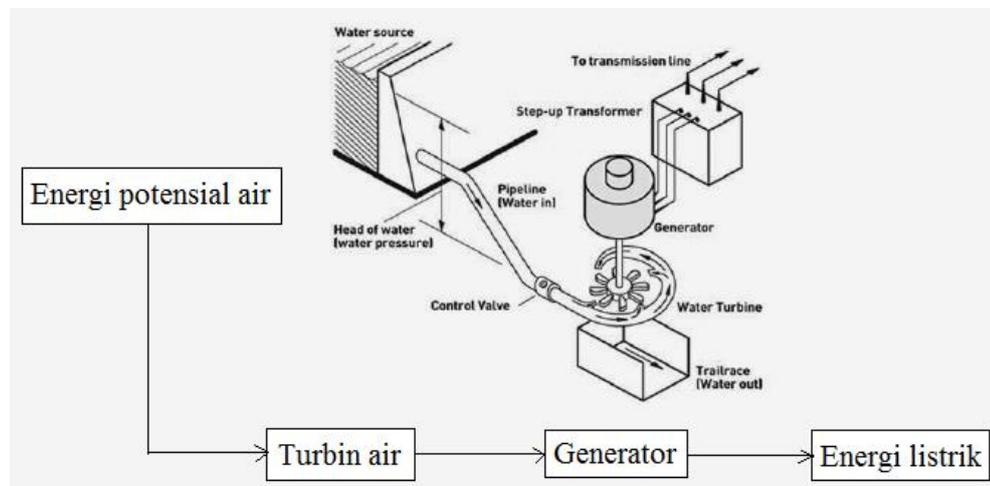
Tabel 2. Kapasitas Terpasang Pembangkit Tenaga Listrik Nasional

NO.	Tahun	PLTMH Terpasang (MW)	Jumlah Total Pembangkit Yang Terpasang (MW)
1	2008	0,69	31.462,54
2	2009	0,69	31.958,93
3	2010	0,69	33.983,30
4	2011	5,93	39.898,97
5	2012	6,71	45.253,47
6	2013	29,69	50.898,51

Sumber: (Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral: 2014)

2.2 Prinsip PLTMH

PLTMH menggunakan potensi daya yang dimiliki air untuk menghasilkan listrik. Potensi daya yang dimiliki air dipengaruhi oleh debit dan tinggi jatuh air (*head* potensial). Biasanya PLTMH menggunakan debit dan tinggi jatuh air pada aliran sungai, air terjun dan saluran irigasi. Air yang bergerak (karena perbedaan ketinggian) akan menggerakkan turbin air dan memutar poros turbin. Poros turbin yang berputar juga akan memutar poros pada generator dan menghasilkan listrik.



Gambar 2. Prinsip Kerja PLTMH

(Sumber: Muchlisin Riadi, 2016)

Potensi daya air pada PLTMH merupakan sejumlah daya yang dimiliki air dengan pengaruh besarnya debit dan tinggi jatuh air (*head* potensial). Besarnya debit air yang melewati berbanding lurus terhadap daya yang dihasilkan. Begitu juga dengan tinggi jatuh air, tekanan yang dihasilkan air terhadap sudu turbin akan besar bila tinggi jatuhnya besar. Hubungan potensi daya air terhadap debit dan tinggi jatuh air dapat dilihat pada persamaan berikut (Sukamta, 2013):

$$P_a = g \rho Q H \quad (2.1)$$

dimana:

P_a = Potensi daya air (Watt)

g = Percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

ρ = Densitas air pada suhu T (kg/m^3)

Q = Debit air (m^3/s)

H = Tinggi jatuh air (m)

Potensi daya air tersebut akan berkurang setelah melewati turbin dan generator yang diformulasikan sebagai berikut (Sukamta, 2013):

$$P_a = g \rho Q H \eta_t \eta_g \quad (2.2)$$

dimana:

η_t = efisiensi kincir (0,8 – 0,95)

η_g = efisiensi generator (0,8 – 0,95)

2.3 Klasifikasi Turbin Air

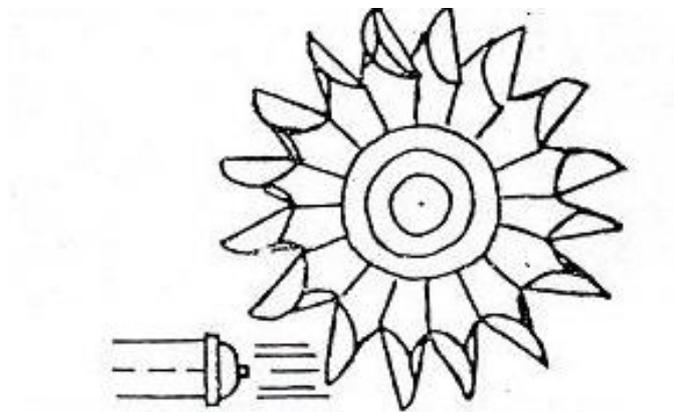
Dengan kemajuan ilmu mekanika fluida dan hidrolika serta memperhatikan sumber energi air yang cukup banyak tersedia di pedesaan akhirnya timbullah perencanaan-perencanaan turbin yang divariasikan terhadap tinggi jatuh air dan debit air yang tersedia. Dari itu maka masalah turbin air menjadi masalah yang 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.

2.3.1. Berdasarkan Model Aliran Air Masuk *Runner*.

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

a. 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*.

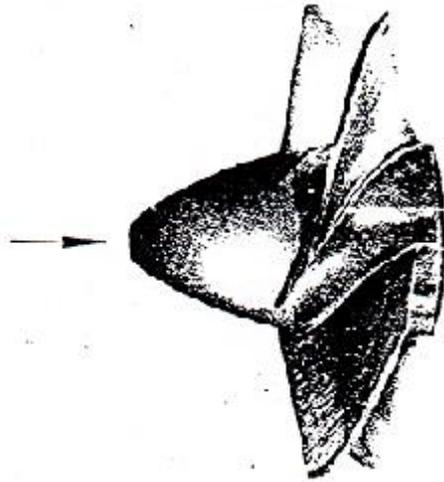


Gambar 3. Turbin Aliran Tangensial

(Sumber : Haimerl, L.A., 1960)

b. 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.

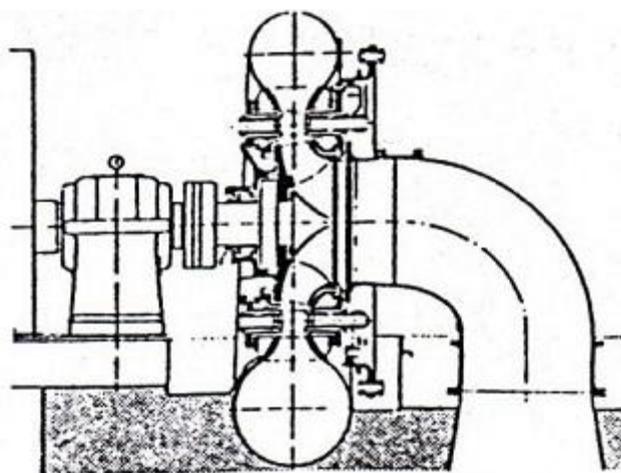


Gambar 4. Model Turbin Aliran Aksial

(Sumber : Haimerl, L.A., 1960)

c. 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 5. Model Turbin Aliran Aksial- Radial

(Sumber : Haimerl, L.A., 1960)

2.3.2. Berdasarkan Perubahan Momentum Fluida Kerjanya.

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

a. Turbin Impuls.

Semua energi potensial air pada turbin ini diubah 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*.

b. Turbin Reaksi.

Pada turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air diubah 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*.

2.3.3. 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 (Lal, Jagdish, 1975):

$$n_s = n \cdot N_e^{1/2} / H_{efs}^{5/4} \quad (2.3)$$

diketahui :

n_s = kecepatan spesifik turbin

n = Kecepatan putaran turbin (rpm)

H_{efs} = tinggi jatuh efektif (m)

N_e = daya turbin efektif (HP)

Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik masing-masing, tabel 3 menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin *kovensional*.

Tabel 3. Kecepatan Spesifik Turbin Konvensional

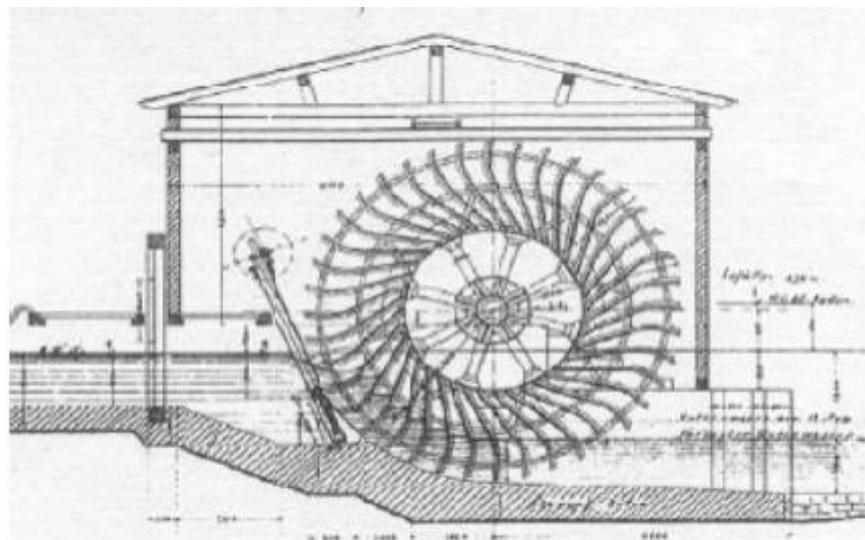
No	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
1.	<i>Pelton</i> dan kincir air	10 - 35
2.	<i>Francis</i>	60 - 300
3.	<i>Cross-Flow</i>	70 - 80
4.	<i>Kaplan</i> dan <i>propeller</i>	300- 1000

(Sumber: Lal, Jagdish, 1975)

2.3.4. Berdasarkan Aliran Arah Tembakan Fluida

a. *Undershot*

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



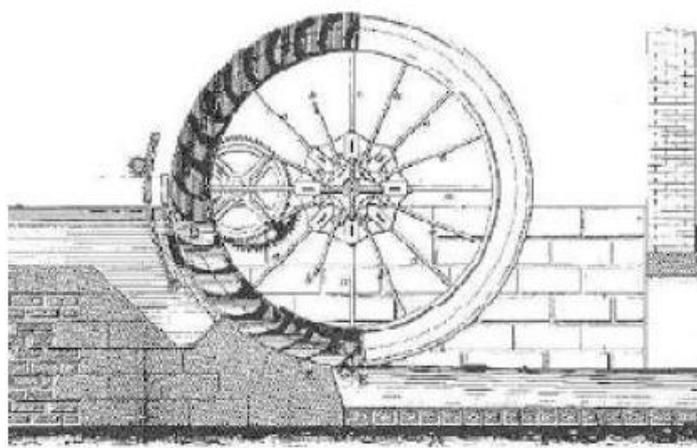
Gambar 6. Turbin *Undershot*

(Sumber: Morong, 2016)

b. *Breastshot*

Turbin air tipe *breastshot* merupakan perpaduan antara turbin *overshot* dan *undershot* dilihat dari energi yang diterimanya. Turbin air *breastshot* juga memerlukan beda tinggi dengan pancaran air. Jarak tinggi jatuhnya tidak

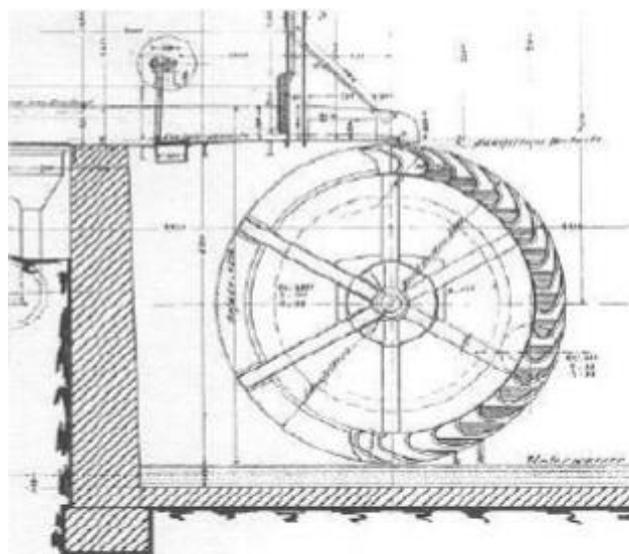
melebihi diameter turbin, arah aliran air yang menggerakkan turbin air disekitar sumbu poros dari turbin air (Budi, 2013).



Gambar 7. Turbin *Breastshot*
(Sumber: Morong, 2016)

c. *Overshot*

Turbin air tipe *overshot* adalah tipe turbin yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian atas turbin dan karena gaya berat air turbin berputar. Turbin air *overshot* memerlukan beda tinggi dengan pancaran air. Turbin air *overshot* adalah turbin air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis turbin lain (Budi, 2013).



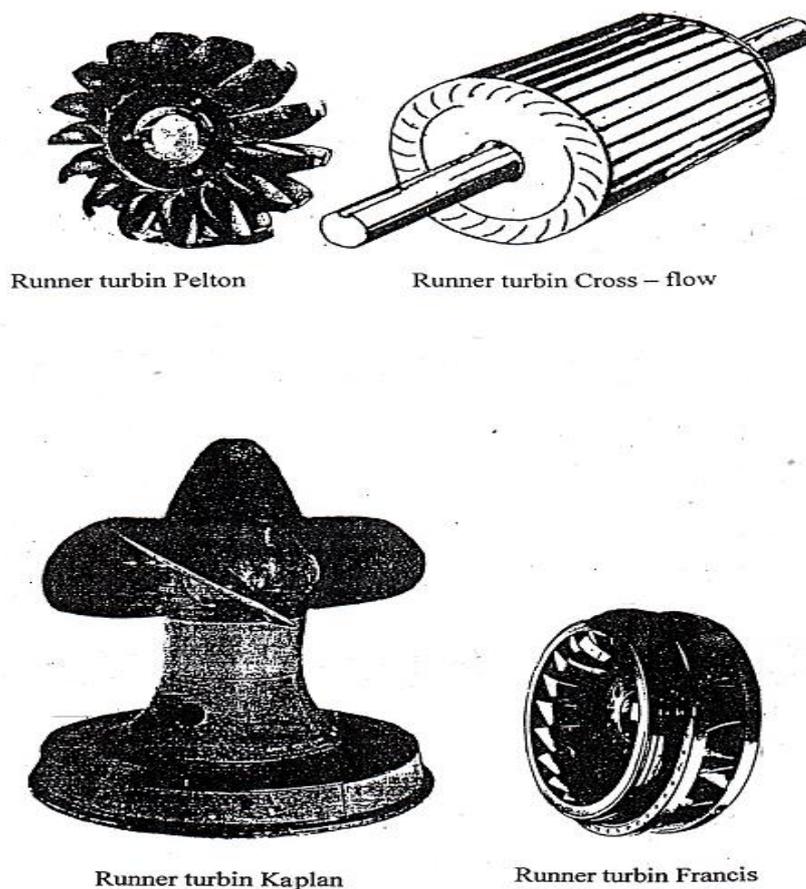
Gambar 8. Turbin *Overshot*
(Sumber: Morong, 2016)

2.3.5 Berdasarkan *Head* dan Debit.

Dalam hal ini pengoperasian turbin air disesuaikan dengan potensi *head* dan debit yang ada yaitu :

- Head* yang rendah yaitu dibawah 40 meter tetapi debit air yang besar, maka Turbin *Kaplan* atau *propeller* cocok digunakan untuk kondisi seperti ini.
- Head* yang sedang antara 30 sampai 200 meter dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini digunakan Turbin *Francis* atau *Cross-Flow*.
- Head* yang tinggi yakni di atas 200 meter dan debit sedang, maka gunakanlah turbin impuls jenis *Pelton*.

Gambar 9 menjelaskan bentuk kontruksi empat macam runner turbin konvensional.



Gambar 9. Empat Macam *Runner* Turbin Konvensional
(Sumber : Haimerl, L.A., 1960)

2.4 Turbin pelton

Turbin pelton merupakan pengembangan dari turbin impuls yang ditemukan oleh S.N. Knight (1872) dan N.J. Colena (1873) dengan pasang mangkok-mangkok pada roda turbin. Setelah itu turbin impuls dikembangkan oleh orang Amerika Lester G. Pelton (1880) yang melakukan perbaikan dengan penerapan mangkok ganda simetris, punggung membelah membagi jet menjadi dua paruh yang sama yang dibalikkan menyamping. Pada turbin pelton putaran terjadi akibat pembelokan pada mangkok ganda runner oleh sebab itu turbin pelton disebut juga sebagai turbin pancaran bebas. Turbin Pelton merupakan suatu jenis turbin yang mengandalkan suatu reaksi impuls dari suatu daya yang dihasilkan dari daya hidrolisis. Semakin tinggi *head* yang dimiliki maka semakin baik untuk turbin jenis ini. Walaupun ns (kecepatan spesifik) relatif kecil tapi memungkinkan untuk kecepatan yang tinggi dengan ketentuan jumlah nosel yang banyak dalam meningkatkan daya yang lebih tinggi. Sehingga jika putaran dari generator yang dikopel ke turbin semakin tinggi, maka generator yang digunakan akan semakin murah.



Gambar 10. Turbin Pelton

(Sumber : *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, Vol. 9, No. 1, 2006: 16 – 24)

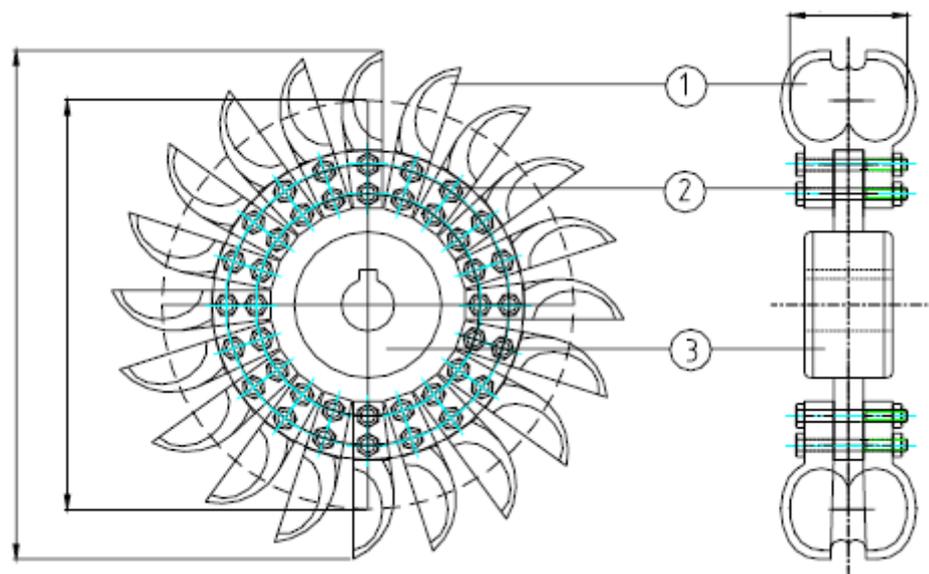
Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah – tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya – gaya samping. Untuk turbin dengan daya besar, sistem penyemprotan airnya lewat beberapa *nozzle*. Dengan demikian diameter pancaran air bisa diperkecil dan ember sudu

lebih kecil. Turbin Pelton untuk pembangkit skala besar membutuhkan *head* lebih kurang 150 meter tetapi untuk skala mikro, *head* 20 meter sudah mencukupi.

Pada dasarnya Turbin Pelton mempunyai tiga komponen utama yaitu sudu turbin, *nozzle* dan rumah turbin.

a. Sudu Turbin

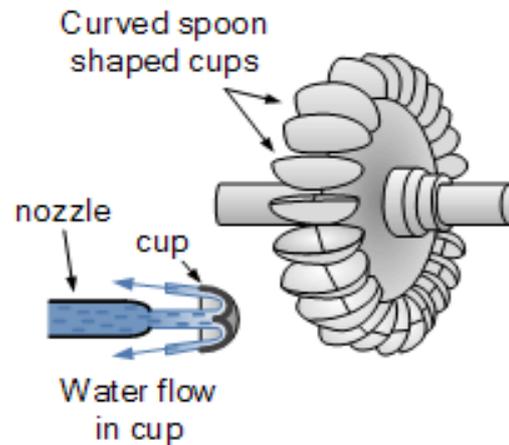
Sudu turbin ini berbentuk mangkok, yang dipasang disekeliling roda jalan (*runner*). Setiap pemotongan pancaran air oleh mangkok pada umumnya gangguan atas pancaran tersebut. Mendadak dan tanpa diinginkan sebagian aliran membentur dan terbelokkan. Untuk menambah panjangnya usia *runner*, digunakan bahan mangkok yang lebih baik mutunya, misalnya baja tahan karat.



Gambar 11. Sudu Turbin Pelton, (1) Sudu Turbin (2) Baut (3) Piringan
(Sumber: Bono, 2008)

b. *Nozzle*

Nozzle berfungsi untuk mengarahkan pancaran air ke sudu-sudu turbin yang di depannya terdapat katup untuk mengatur kapasitas air yang masuk ke turbin. Pada turbin pelton mungkin dikonstruksikan dengan *nozzle* lebih dari satu buah. Pada poros mendatar dilengkapi satu atau dua *nozzle*, sedang yang berporos tegak mempunyai sampai 6 buah.



Gambar 12. *Nozzle* Turbin Pelton
(Sumber: Danillo Cappechi, 2013:13)

Klasifikasi jenis-jenis *nozzle* air sebagai berikut:

1. *Nozzle Jet*

Nozzle jet memiliki diameter yang lebih besar dan tekanan yang lebih rendah pada bagian input dari pada bagian output yang memiliki diameter lebih kecil dan tekanan yang lebih besar akibat pengecilan diameter.

2. *Nozzle Magnetik*

Nozzle magnetik juga telah diusulkan untuk beberapa jenis penggerak, di mana aliran plasma diarahkan oleh medan magnet, bukan dinding yang terbuat dari materi padat.

3. *Nozzle Spray*

Nozzle spray memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan *nozzle jet* namun memiliki diameter yang lebih kecil dan terjadi perluasan aliran output fluida atau memecah aliran fluida (aerosol).

c. Rumah Turbin

Rumah Turbin berfungsi sebagai tempat kedudukan roda jalan dan penahan air yang keluar dari sudu-sudu turbin. Agar *runner* tidak terendam, rumah turbin harus cukup tinggi diatas muka air pacu-buri. Konstruksinya harus cukup kuat untuk perlindungan seputar dari kemungkinan mangkok atau *runner* rusak dan terlempar saat turbin beroperasi.

2.5 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 menjadi energi kinetik dan tekanan pada fluida.

Spesifikasi pompa dinyatakan dengan jumlah fluida yang dapat dialirkan per satuan waktu (kapasitas) dan energi angkat (*head*) dari pompa.

a. Kapasitas (Q)

Merupakan volum fluida yang dapat dialirkan persatuan waktu. Dalam pengujian ini pengukuran dari kapasitas dilakukan dengan menggunakan venturimeter. Satuan dari kapasitas (Q) adalah m^3/s , liter/s, atau ft^3/s .

b. Putaran (n)

Yang dimaksud dengan putaran disini adalah putaran poros (impeler) pompa, dinyatakan dalam satuan rpm. Putaran diukur dengan menggunakan tachometer.

c. Torsi (T)

Torsi didapatkan dari pengukuran gaya dengan menggunakan dinamometer, kemudian hasilnya dikalikan dengan lengan pengukur momen (L). Satuan dari torsi adalah N.m.

d. Daya (P)

Daya dibagi menjadi dua macam, yaitu daya poros yang merupakan daya dari motor listrik, serta daya air yang dihasilkan oleh pompa. Satuan daya adalah Watt.

e. Efisiensi (η)

Merupakan perbandingan antara daya air yang dihasilkan dari pompa, dengan daya poros dari motor listrik.

2.6 Klasifikasi Pompa

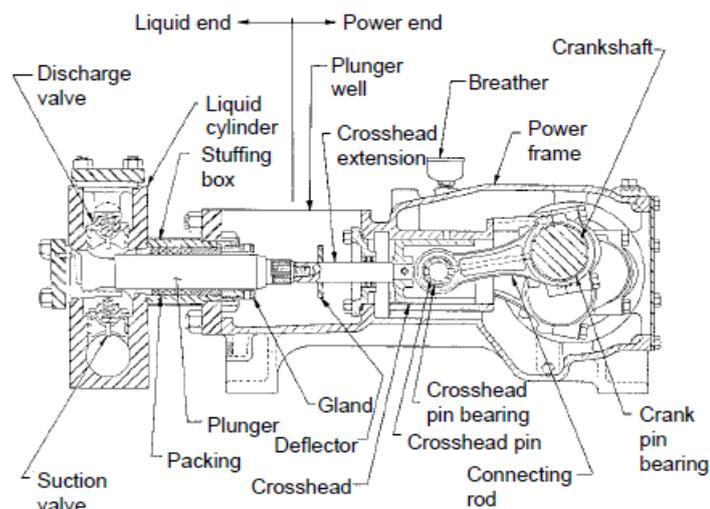
a. *Positive Displacement Pump*

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. Skema pompa torak ditunjukkan pada gambar 13.



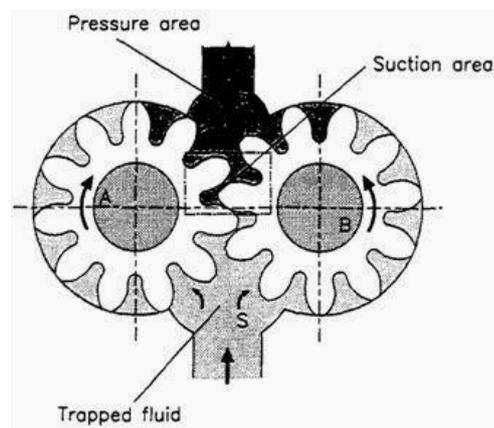
Gambar 13. Skema pompa torak
(Sumber: Sularso, 2000)

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*. Jenis pompa ini diantaranya adalah:

a. Gear Pump (Pompa Roda Gigi)

Prinsip kerja dari pompa ini adalah berputarnya dua buah roda gigi berpasangan yang terletak dalam rumah pompa akan menghisap dan menekan fluida yang dipompakan. Fluida yang mengisi ruang antar gigi ditekan ke sisi buang. Akibat diisinya ruang antar sisi tersebut maka pompa ini dapat beroperasi. Aplikasi dari pompa ini adalah pada sistem pelumasan, karena pompa ini menghasilkan *head* yang tinggi dan debit yang rendah. Contoh pompa roda gigi terdapat pada gambar 14.



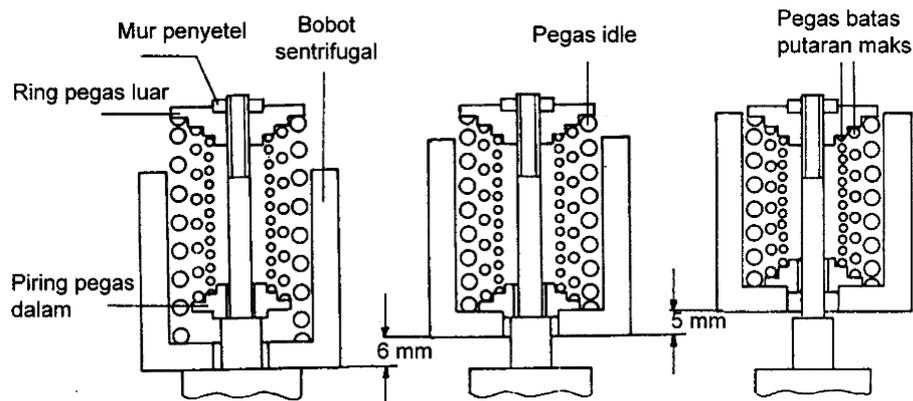
Gambar 14. Pompa roda gigi.

(Sumber: Sularso, 2000)

b. Pompa Piston

Prinsip kerja dari pompa ini adalah berputarnya selubung putar menyebabkan piston bergerak sesuai dengan posisi ujung piston di atas

piring dakian. Fluida terhisap ke dalam silinder dan ditekan ke saluran buang akibat gerakan naik turun piston. Fungsi dari pompa ini adalah untuk pemenuhan kebutuhan *head* tinggi dan kapasitas rendah. Skema pompa piston ditunjukkan pada gambar 15.



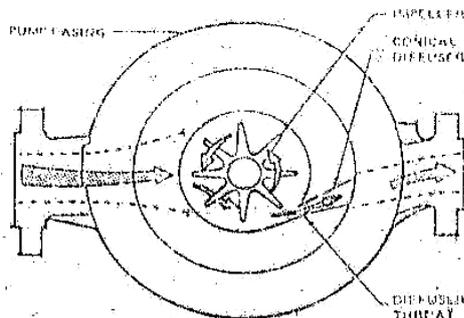
Gambar 15. Skema pompa piston.
(Sumber: Sularso, 2000)

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.

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. Contoh pompa aksial terdapat pada gambar 16.

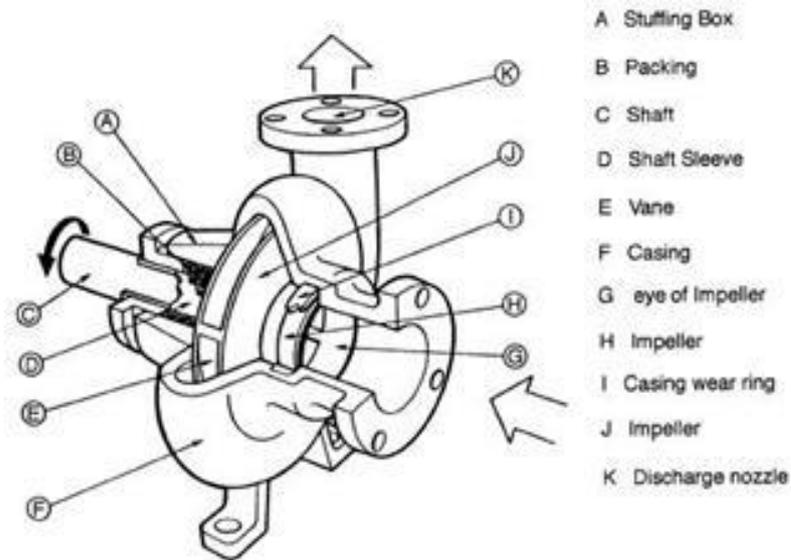


Gambar 16. Pompa aksial
(Sumber: Sularso, 2000)

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.

Bagian-bagian dari pompa sentrifugal, sebagai berikut:



Gambar 17. Penampang memanjang pompa sentrifugal

(Sumber: Sularso, 2000)

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. Kadang-kadang digunakan minyak gemuk sebagai medium perapat apabila cairan yang bersih tidak tersedia atau tidak dapat dipakai (pompa air kotor).

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)

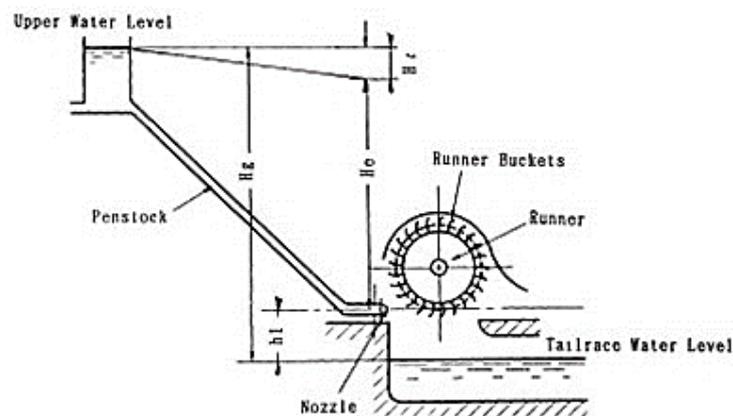
Digunakan untuk mencegah kebocoran di sekeliling poros. Perapat poros ini juga dipakai apabila peti gasket tidak dapat mencegah

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. Jenis dalam digunakan untuk cairan yang mudah menguap.

2.7 Head

Head didefinisikan sebagai energi per satuan berat fluida. Satuan dari *head* (H) adalah meter atau feet fluida. Menurut persamaan Bernoulli, terdapat tiga macam *head* dari sistem instalasi aliran, yaitu *head* tekanan, *head* kecepatan, dan *head* potensial sebagai berikut:

- Head* tekanan adalah perbedaan *head* yang disebabkan perbedaan tekanan statis (*head* tekanan) fluida pada sisi tekan dan sisi isap.
- Head* kecepatan adalah perbedaan antara *head* kecepatan zat cair pada sisi tekan dengan *head* kecepatan zat cair pada sisi isap.
- Head* potensial/elevasi adalah perbedaan ketinggian antara fluida pada sisi tekan dengan ketinggian fluida pada sisi isap.



Gambar 18. Head Potensial Pada PLTMH

(Sumber: Ariyanto, 2012)

Dimana:

H_g = Gross Head

H_e = Net Head

H_l = *Head Losses*

h_i = *Nozzle Center*

Daya yang dibangkitkan PLTMH dapat dihitung menggunakan persamaan (2.4). Dan untuk perhitungan *head* potensial dapat dihitung menggunakan runut persamaan (2.5) - (2.9).

1. Perhitungan Daya (P)

$$P = I \times V \quad (2.4)$$

(Sumber: *Jurnal Elektronika dan Komputer, Vol.8*)

Dimana :

P = Daya yang dibangkitkan PLTMH (Watt)

I = Arus (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

2. Perhitungan Kecepatan Tangensial Turbin (U)

Untuk menghitung kecepatan tangensial turbin dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Morong, 2016):

$$n = \frac{60 \frac{\text{min}}{\text{s}} \times U}{\pi d} \quad (2.5)$$

$$U = \frac{\pi d n}{60 \frac{\text{min}}{\text{s}}} \quad (2.6)$$

dimana:

n = Jumlah putaranturbin (rpm)

U = Kecepatan tangensial turbin (m/s)

d = Diameter luar kincir (m)

3. Perhitungan Kecepatan Aliran yang Melewati *Nozzle*

Untuk menghitung kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* dapat digunakan persamaan (Morong, 2016):

$$U = \frac{v \cos \alpha}{2} \quad (2.7)$$

$$v = \frac{2U}{\cos \alpha} \quad (2.8)$$

dimana:

U = Kecepatan tangensial kincir (m/s)

v = Kecepatan aliran air setelah melewati *nozzle* (m/s)

α = Sudut yang dibentuk oleh arah tembakan *nozzle* terhadap poros

4. Perhitungan *Head* Potensial

Untuk menghitung *head* potensial dapat digunakan persamaan (Dandekar, 1991):

$$v = K_v \sqrt{2 g H} \quad (2.9)$$

$$H = \frac{\left(\frac{v}{K_v}\right)^2}{2 g} \quad (2.10)$$

5. Perhitungan pada *Penstock*

Penstock adalah saluran dimana air dari resevoir bergerak untuk menuju turbin air. Aliran fluida pada penstock mempengaruhi unjuk kerja sebuah turbin air. Pemilihan dimensi merupakan salah satu cara mengoptimalkan dimensi *penstock*. Penstock merupakan saluran tertutup yang mengalirkan air bertekanan dari *forebay* langsung menuju turbin. Penstock harus bisa menahan gelombang tekanan air, sehingga pada waktu penutupan aliran secara tiba-tiba tidak menyebabkan penstock rusak. Untuk menghitung diameter, panjang, dan sudut elevasi *penstock* dapat digunakan persamaan (Hartadi, 2013):

a. Perhitungan Diameter *Penstock*

$$D_p = 0,72 \times Q^{0,5} \quad (2.11)$$

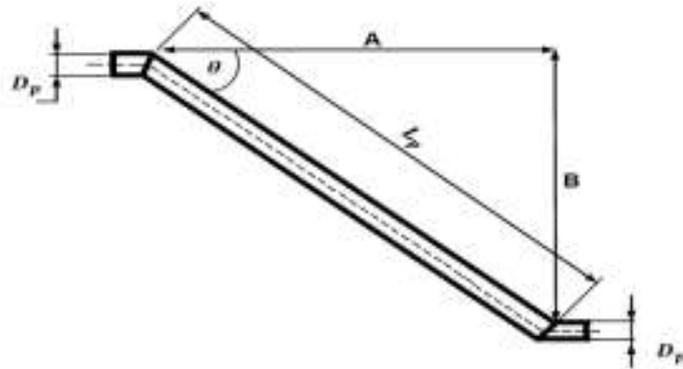
Dimana:

D_p = Diameter *penstock* (m)

Q = Debit air (m³/s)

b. Perhitungan Panjang *Penstock*

Untuk menghitung panjang *penstock* digunakan ilustrasi pada gambar berikut:



Gambar 19. Bentuk dan Dimensi *Penstock*
(Sumber: Hartadi, 2013)

$$L_p = \sqrt{A^2 + B^2} \quad (2.12)$$

Dimana:

L_p = Panjang *penstock* (m)

A = Jarak bendungan dengan posisi turbin yang direncanakan (m)

B = *Head* potensial (tinggi jatuh air) (m)

c. Perhitungan Sudut Elevasi *Penstock*

Berdasarkan gambar 19, sudut elevasi *penstock* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\sin \theta = \frac{B}{L_p} \quad (2.13)$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{B}{L_p} \right) \quad (2.14)$$

Dimana:

θ = Sudut elevasi *penstock*

B = *Head* potensial (tinggi jatuh air) (m)

L_p = Panjang *penstock* (m)

2.7 Generator

Generator digunakan sebagai alat untuk merubah energi putar mekanis menjadi energi listrik melalui adanya medan magnet yang diputar melalui rotor

dan akan menimbulkan medan magnet yang timbul di sisi stator. Medan magnet yang terjadi di stator dengan pola-pola tertentu akan menimbulkan arus listrik yang mengalir di kumparan 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 memutarinya. Beban yang terpasang merupakan beban listrik yang digunakan sebagai media penerangan (Jasa, dkk, 2010).

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. (Nurhadi, dkk 2013).

Generator merupakan piranti atau peralatan listrik yang dapat digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, dapat berupa generator arus searah (generator DC) maupun generator arus bolak-balik (Alternator). Motor merupakan piranti atau peralatan listrik yang dapat dipergunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanis, juga dapat berupa motor arus searah maupun motor arus bolak balik (Wahab, 2009).

Dalam bentuknya yang sederhana sebuah generator listrik terdiri dari atas magnet dan kumparan. Bilamana terdapat suatu gerakan antara kedua komponen diatas, garis-garis gaya magnet memotong belitan-belitan kumparan dan suatu gerak gaya listrik (ggl) akan dibangkitkan. Sebuah generator listrik atau alternator modern atas suatu sistem elektro magnet dan suatu alatur yang terdiri atas sejumlah kumparan dari konduktor berisolasi yang diletakkan dalam alur (slot) inti besi berlaminasi.