

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Air

2.1.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik air yang dikonversikan menjadi energi listrik oleh turbin atau kincir air (Juneidy Morong, 2016). Pembangkit listrik tenaga air diklasifikasi menurut besarnya kapasitas daya yang dihasilkan. Klasifikasi umum pembangkit listrik tenaga air disajikan 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 diatas pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik tenaga air yang memiliki kapasitas dibawah 100 kW. PLTMH bisa menjadi salah satu alternatif penyediaan energi listrik yang ramah lingkungan (*clean energi*) yang dapat menjangkau daerah-daerah yang sulit mendapatkan listrik. (Very Dwiyanto, 2015). Pembangkit listrik tenaga mikrohidro dapat digunakan pada saluran irigasi dan sungai atau air terjun alam, dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*, dalam m) dan jumlah debit airnya (m³/detik). Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik (Menik Windarti, 2014).

Energi air merupakan kombinasi antara tinggi jatuh dan debit air. Besarnya energi air yang tersedia dari suatu sumber air tergantung pada besarnya tinggi jatuh dan debit air. Tinggi jatuh dan debit air diperlukan untuk bisa menghasilkan listrik, tinggi jatuh merupakan tekanan air yang dihasilkan oleh perbedaan ketinggian antara air masuk pada reservoir (tangka penampung) dan air keluar dari

turbin, sedangkan debit air merupakan jumlah aliran (volume per satuan waktu) yang melewati turbin. Tinggi jatuh dan debit air merupakan dua hal yang sangat penting yang diperlukan untuk pembangkitan listrik tenaga air.

2.1.2 Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah air yang jatuh (debit) perdetik yang ada pada saluran air atau air terjun. Sejumlah air yang jatuh pada ketinggian tertentu memiliki energi potensial kemudian mengalir pada kecepatan tertentu yang memberikan energi kinetik. Energi potensial dan kinetik yang dimiliki air dapat menggerakkan kincir, dimana air jatuh kemudian menabrak sudu-sudu kincir mengakibatkan kincir berputar. Perputaran yang dihasilkan oleh kincir menghasilkan energi mekanik kincir yang kemudian selanjutnya akan dikonversikan menjadi energi listrik melalui generator. Hal-hal yang mempengaruhi dalam mengkonversi energi air menjadi energi mekanik dan energi listrik yakni ketinggian air yang jatuh dan jumlah air yang mengalir atau debit. Semakin tinggi air yang jatuh maka semakin besar energi potensial yang dimiliki air, semakin besar kecepatan air yang mengalir maka semakin besar pula energi kinetik air. Semakin besar energi potensial dan kinetik air maka semakin besar daya mekanik kincir yang dihasilkan, semakin besar daya mekanik kincir maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan (Juneidy Morong, 2016).

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 menggunakan persamaan 1.

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot \eta \quad (1)$$

(Sumber : Teacher Manual Diploma Hydro Power)

Dimana:

P = Daya yang dibangkitkan PLTMH (Watt)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

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

Q = Debit aliran Air (m^3/s)

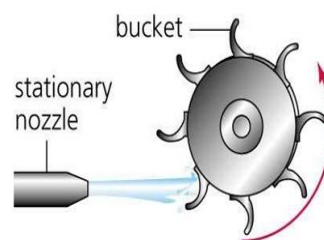
H = beda ketinggian (m)

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

2.2 *Nozzle*

2.2.1 Pengertian *Nozzle*

Nozzle adalah alat yang berfungsi untuk meningkatkan kecepatan aliran fluida saat keluar atau memasuki sebuah ruang tertutup atau pipa. Sebuah *nozzle* sering berbentuk pipa atau tabung dari berbagai variasi luas penampang, dan dapat digunakan untuk mengarahkan atau memodifikasi aliran fluida (cairan atau gas). *Nozzle* sering digunakan untuk mengontrol laju aliran, kecepatan, arah, massa, bentuk, dan / atau tekanan dari aliran yang muncul. *Nozzle* memiliki perbedaan diameter di kedua bagian ujungnya yang bertujuan untuk menentukan kecepatan aliran yang akan keluar *nozzle* yaitu berdiameter besar pada bagian inlet dan berdiameter kecil pada bagian *outlet* sehingga mengakibatkan perubahan kecepatan aliran fluida yang melalui *nozzle*. Kecepatan *nozzle* dari fluida meningkat sesuai energi tekanannya. Prinsip utama penggunaan *nozzle* untuk fluida air atau tak mampat menggunakan prinsip hukum kontinuitas yaitu kekekalan massa (wikipedia, 2017). Untuk lebih jelas, gambar *nozzle* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Air *nozzle*
(Sumber: Iriansyah Putra, 2013)

Nozzle sering digunakan untuk mengontrol laju aliran, kecepatan, arah, massa, bentuk, dan / atau tekanan dari aliran yang muncul. Kecepatan *nozzle* dari fluida meningkat sesuai energi tekanannya. Prinsip utama penggunaan *nozzle* untuk fluida air atau tak mampat menggunakan prinsip hukum kontinuitas yaitu kekekalan massa.

2.2.2 Klasifikasi *Nozzle*

Adapun klasifikasi jenis-jenis *nozzle* air adalah 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 Magnetic*

Magnetic nozzle 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).

2.3 Kincir Air

Kincir air didefinisikan sebagai peralatan mekanis berbentuk roda (*wheel*), dengan sudu (*bucket* atau *vane*) pada sekeliling tepi-tepinya yang diletakkan pada poros vertikal dengan fluida air sebagai fluida kerjanya (Juneidy Morong, 2016).

Air yang mengalir ke dalam dan ke luar kincir tidak mempunyai tekanan lebih, hanya tekanan atmosfer saja. Kecepatan air yang mengalir ke dalam kincir haruslah besar, sebab bila kecepatannya besar maka dorongan pada sudu-sudu kincir semakin besar.

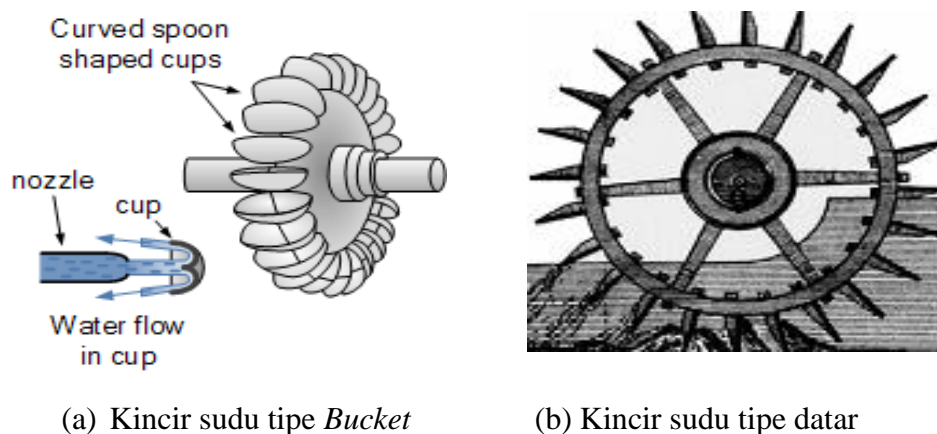
Menurut Junaedy Morong, tinggi air jatuh yang bisa digunakan kincir air berkisar antara 0,1 m sampai 12 m (roda kincir yang besar), dan kapasitas airnya 0,05 m³/s sampai 5 m³/s. Air yang menabrak sudu-sudu runner kincir air hanya mempunyai tekanan atmosfer. Air yang menabrak sudu-sudu runner kincir air hanya mempunyai tekanan atmosfer. Pemakaian kincir adalah di daerah yang aliran airnya tidak tentu, berubah-ubah dan tinggi air jatuhnya kecil, bila perubahan kecepatan putar tidak mengganggu dan kecepatan putarannya kecil 2 putaran/menit sampai dengan 12 putaran/menit, serta daya pada poros transmisi dapat digunakan, misalnya di unit-unit kecil penggilingan tepung,

minyak, dan lain-lain. Untuk roda kincir yang kecepatan putarannya pelan bahannya dibuat dari kayu, tetapi apabila untuk tinggi air jatuh yang besar roda kincir dibuat dari besi.

Kincir air atau kincir air dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk sudu kincir dalam mengubah energi jatuh air menjadi energi mekanik dan dapat juga diklasifikasikan berdasarkan sistem aliran arah air pendorong yaitu titik darimana air akan mendorong sudu kincir.

2.3.1 Klasifikasi kincir air berdasarkan bentuk sudu

Klasifikasi kincir air berdasarkan bentuk sudu dalam mengubah energi jatuh air menjadi energi mekanik yaitu bentuk sudu turbin *bucket* dan bentuk sudu datar kincir. Untuk lebih jelas mengenai klasifikasi bentuk sudu dapat dilihat pada gambar 2.



(a) Kincir sudu tipe *Bucket*

(b) Kincir sudu tipe datar

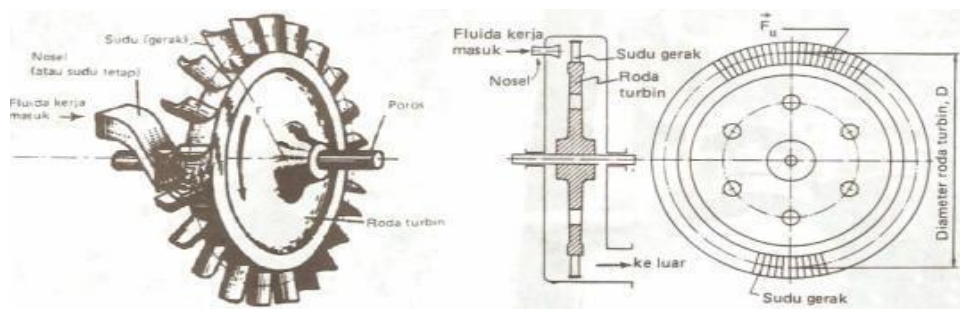
Gambar 2. Klasifikasi Bentuk Sudu Turbin

(Sumber: Danillo Cappechi, 2013:13)

Bentuk kincir sudu datar merupakan kincir air yang memiliki sudu kincir berbentuk dari plat datar. Fluida air ditransportasikan melalui *nozzle* dengan kecepatan tertentu yang mana fluida tersebut menabrak sudu kincir yang menyebabkan kincir berputar. Gaya puntir yang diteruskan ke poros hanya didapatkan dari gaya dorong air pada *nozzle*, jadi gaya puntir yang diteruskan ke poros akan sama dengan gaya dorong air pada *nozzle*. Profil sudu datar akan menimbulkan suara berisik saat terjadi tumbukan pada air dan sudunya sehingga akan memperpendek umur sudu.

Bentuk sudu kincir *bucket* merupakan bentuk sudu kincir yang mengubah seluruh energi air yakni energi potensial dan kinetik menjadi energi mekanik putaran turbin, contoh dari jenis kincir atau turbin ini yaitu pelton (Djoko Lunanto, 2012). Kincir pelton merupakan kincir air yang memiliki sudu kincir berbentuk mangkok atau sendok. Fluida air ditransportasikan melalui *nozzle* dengan kecepatan tertentu yang mana sudu tersebut dapat menampung sejumlah air yang telah ditabrakan kedalam sudu (Amazon: 2016).

Pada roda turbin terdapat sudu yaitu suatu konstruksi lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut, dengan demikian roda turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada suatu gaya yang bekerja. Gaya tersebut terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudunya. Untuk melihat gambar roda turbin dapat dilihat pada gambar 3.



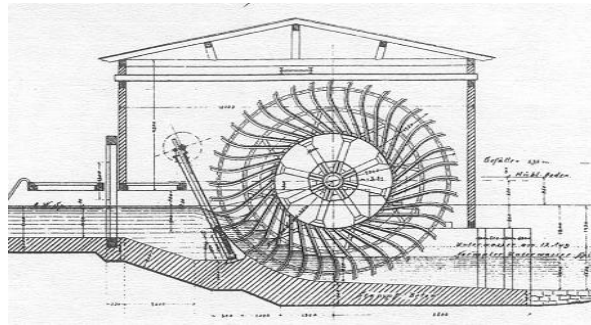
Gambar 3. Roda turbin
(sumber: Amazon: 2016)

Fluida air ditransportasikan melalui *nozzle* dengan kecepatan tertentu yang mana sudu tersebut dapat menampung sejumlah air yang telah ditabrakan kedalam sudu (Amazon, 2016). Adanya momentum pada sisi – sisi sudu akibat aliran air yang bergerak mengikuti kelengkungan sudu menyebabkan besarnya torsi pada sudu tipe ini meningkat. Air cenderung lebih lambat meninggalkan sudu akibat kelengkungan sudu menyebabkan tipe sudu ini mempunyai putaran dan power yang lebih kecil dari pada tipe datar. Tipe sudu ini tidak menimbulkan reaksi berisik saat air menumbuk sudunya, air menumbuk sudu dengan lebih lembut sehingga umur sudu dapat bertahan lebih lama.

2.3.2 Klasifikasi kincir air berdasarkan aliran arah air pendorong

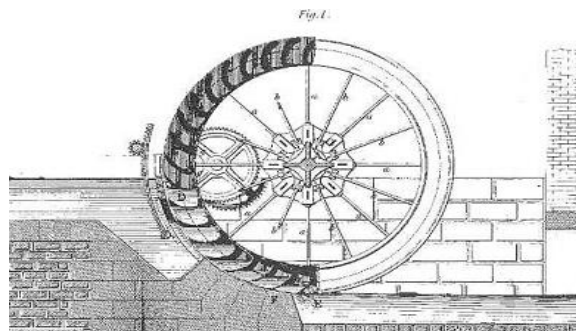
Kincir air digerakkan oleh tenaga aliran arah air dengan kecepatan yang tinggi sehingga dapat menyebabkan terdorongnya sudu-sudu kincir air. Klasifikasi kincir air berdasarkan aliran arah tembak fluida pada sudu kincir yaitu *Undershot*, *Overshot*, dan *Breastshot* (Juneidy Morong, 2016).

Kincir air aliran arah *undershot* adalah kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian bawah kincir. Untuk melihat gambar kincir air arah aliran *undershot* dapat dilihat pada gambar 4.



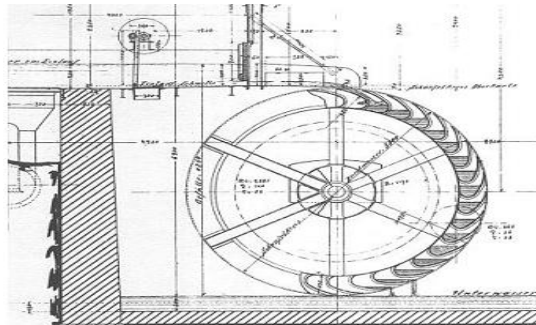
Gambar 4. Kincir Air Tipe *Undershot*
(Sumber : Juneidy Morong, 2016)

Kincir air tipe *breastshot* adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian tengah kincir. Ilustrasi kincir air tipe *breastshot* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Kincir Air Tipe *Breastshot*
(Sumber : Juneidy Morong, 2016)

Kincir air aliran arah *overshot* adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian atas kincir. Untuk lebih jelasnya mengenai kincir air tipe *overshot* dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Kincir Air Tipe *Overshot*
(Sumber: Juneidy Morong, 2016)

Pembangkit listrik tipe kincir air sangat mudah untuk digunakan pada kondisi debit air (Q) tertentu, dalam pemilihan kincir air yang efektif dapat dilihat dari keunggulan dan kerugian masing-masing kincir yang ada ialah sebagai berikut:

1. Kincir Air *Undershot*

Kincir air *Undershot* bekerja bila air yang mengalir menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah dari kincir air. Tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata. Tipe ini disebut juga dengan “*vitruvian*”. Disini aliran air berlawanan dengan arah sudu yang memutar kincir.

Keuntungan:

- a. Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.
- b. Konstruksi lebih sederhana
- c. Lebih ekonomis
- d. Mudah untuk dipindahkan

Kerugian:

- a. Efisiensi kecil (25%-70%)
- b. Daya yang dihasilkan relatif kecil

2. Kincir Air *Breastshot*

Kincir air *Breastshot* merupakan perpaduan antara tipe *overshot* dan *undershot* dilihat dari energi yang diterimanya.

Keuntungan:

- a. Tipe ini lebih efisiensi dari tipe *undershot*
- b. Dibandingkan tipe *overshot* tinggi jatuhnya lebih pendek
- c. Dapat diaplikasikan pada sumber air aliran rata

Kerugian:

- a. Sudu-sudu dari tipe ini tidak rata seperti tipe *undershot* (lebih rumit)
- b. Diperlukan pada arus aliran rata
- c. Efisiensi lebih kecil daripada tipe *overshot* (20% - 75%)

3. Kincir air *Overshot*

Kincir air *Overshot* bekerja bila air yang mengalir ke dalam bagian sudu sisi bagian atas dan karena gaya berat air roda kincir berputar. Kincir air *overshot* paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain.

Keuntungan:

- a. Tingkat efisiensi yang tinggi dapat mencapai 85 %
- b. Tidak membutuhkan aliran yang deras.
- c. Konstruksi yang sederhana
- d. Mudah dalam perawatan
- e. Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terpencil.

Kerugian:

- a. Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air memerlukan investasi lebih banyak
- b. Tidak dapat untuk mesin putaran tinggi
- c. Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.

2.3.3 Klasifikasi Kincir/Turbin Air Berdasarkan Cara Mengubah Energi Air Menjadi Energi Puntir

Pada umumnya turbin air dapat diklasifikasi menjadi 2 jenis berdasarkan gerakan sudu-sudu dalam hal mengubah tinggi jatuh menjadi energi kinetik yaitu (Djoko Luknanto, 2007) :

1. Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin air yang memiliki prinsip merubah seluruh energi air yang terdiri dari energi potensial dan energi kecepatan kinetik menjadi energi mekanik untuk memutar turbin. Energi potensial air diubah menjadi

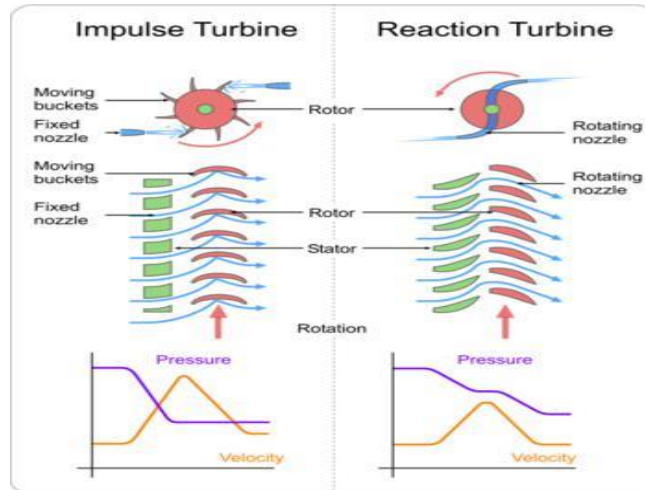
energi kinetik pada *nozzle*. Air keluar *nozzle* yang mempunyai kecepatan tinggi menabrak sudu turbin. Setelah menabrak sudu, arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls) yang mengakibatkan roda turbin berputar. Turbin impuls adalah turbin yang memiliki tekanan sama karena aliran air yang keluar dari *nozzle* tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi tinggi air jatuh dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Contoh turbin impuls adalah turbin Pelton dan *Crossflow*.

2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang sudunya mempunyai profil/bentuk 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. Contoh turbin reaksi adalah turbin Francis dan Propeller.

Pada turbin impuls perubahan energi tekanan menjadi energi kinetik hampir seluruhnya terjadi pada sudu pengarah (*guide vane*), sedangkan pada sudu gerak tekanan dan kecepatan relatif fluida tidak berubah (Junaedy Morong, 2016). Pada sudu gerak kecepatan absolut fluida berkurang karena digunakan untuk memutar poros turbin (berubah menjadi energi mekanik). Sedangkan pada turbin reaksi perubahan energi tekanan menjadi energi kinetik terjadi pada sudu pengarah dan sudu gerak. Pada turbin impuls ketika air melewati sudu pengarah (*nozzle*) kecepatan akan meningkat serta tekanannya akan turun. Ketika air melewati sudu gerak tekanan dan kecepatan relatifnya tidak berubah. Sebaliknya pada turbin reaksi, ketika air melewati sudu pengarah (*nozzle*) tekanannya akan turun dan kecepatannya akan meningkat, demikian juga ketika air melewati sudu gerak (*runner*) tekanannya juga turun dan kecepatan relatif fluida meningkat, sedangkan kecepatan absolut fluida menurun karena ada perubahan dari energi kinetik menjadi energi mekanik pada poros turbin.

Untuk lebih jelas mengenai turbin impuls dan reaksi dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Hubungan P-v pada turbin impuls dan reaksi
(Junaedy Morong, 2016)

Berikut jenis-jenis turbin yang digunakan sesuai dengan head air jatuh yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Jenis-jenis Turbin dengan Head Air Jatuh

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

(Sumber: Veri Dwiyanto, 2016)

Adapun pengertian dan prinsip kerja turbin diantaranya sebagai berikut:

a. Turbin Pelton

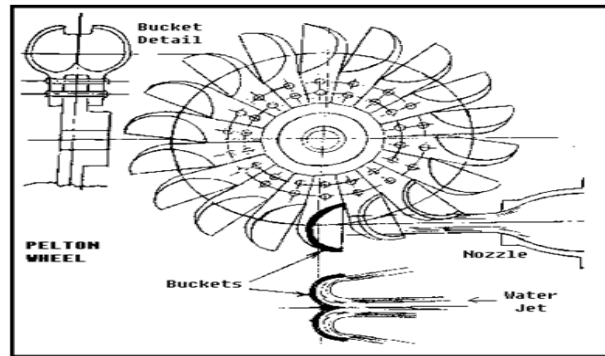
Turbin Pelton adalah turbin untuk tinggi terjun yang tinggi, yaitu diatas 300 meter, tetapi untuk skala mikro *head* 20 meter sudah mencukupi. Teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik pada roda air turbin dilakukan melalui proses impuls sehingga turbin pelton juga disebut sebagai turbin impuls.

Bagian-bagian utama turbin pelton :

1. Pipa *nozzle* dan lain lain yang diperlukan untuk mengarahkan aliran jet air.

2. Runner yang menggunakan energi kinetis aliran jet (semburan) air.
3. Kotak Penutup untuk mengamankan runner dan *nozzle*.
4. Alat pengatur kecepatan (*governor*) agar kecepatan tetap sama pada beberapa bahan.

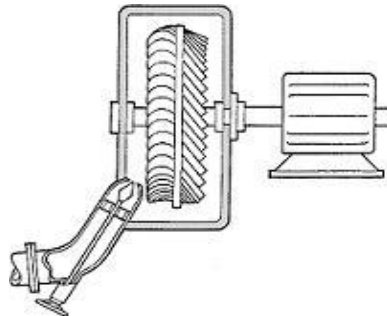
Untuk lebih jelas mengenai turbin pelton dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Turbin Pelton,
(sumber : Dixson 2010)

b. Turbin Turgo.

Dapat beroperasi pada head 30 s/d 300 m. Seperti turbin pelton turbin turgo merupakan turbin impuls, tetapi sudunya berbeda yakni memiliki konstruksi sudu yang disusun secara sinusoidal. Untuk lebih jelas mengenai turbin turgo dapat dilihat pada gambar 9.

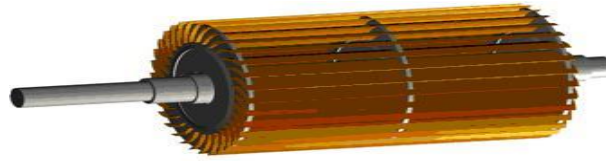


Gambar 9. Turbin Turgo
(sumber : Dixson, 2010)

c. 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 L/sekon hingga 10000 L/sekon

dan head antara 1 s/d 200 m. Untuk lebih jelas mengenai turbin *crossflow* dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Turbin Crossflow
(sumber : Dixon, 2010)

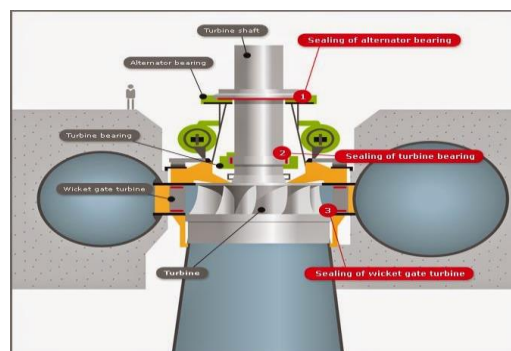
d. Turbin Francis

Turbin Francis paling banyak digunakan di Indonesia. Turbin ini digunakan pada PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) dengan tinggi terjun sedang, yaitu antara 20-400meter, Turbin Francis digunakan untuk memanfaatkan energi potensial pada ketinggian menengah (dari beberapa puluh meter sampai 100 m). Selain itu turbin Francis dapat menghasilkan kecepatan putaran poros tinggi yang biasanya digunakan untuk menggerakkan generator. Teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik pada roda air turbin dilakukan melalui proses reaksi sehingga turbin Francis juga disebut sebagai turbin reaksi.

Bagian-bagian utama turbin Francis :

1. Rumah spiral (*scroll-case*) yang menerima air dari pipa pesat dan mengarahkan aliran air ke turbin. Fungsi rumah spiral adalah membagi rata air yang diterima dari pipa pesat sekeliling turbin.
2. Runner (sudu gerak) dan Sudu pengarah (*nozzle*) yang meneruskan air dari turbin ke saluran pembuangan. Dixon (2010:310)

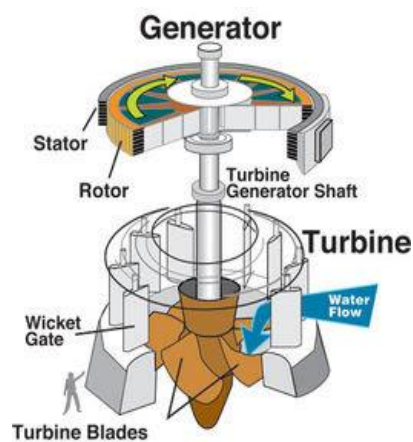
Untuk lebih jelas mengenai turbin *francis* dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Turbin Francis
(sumber : Dixon, 2010)

e. Turbin Kaplan/Propeller

Disebut turbin Propeller apabila mangkok-mangkok turbinnya tetap, sedangkan turbin Kaplan memiliki mangkok-mangkok turbin yang dapat diatur. Turbin Kaplan/Propeller baik digunakan pada PLTA dengan tinggi terjun yang rendah, yaitu dibawah 20 meter. Teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik pada roda air turbin dilakukan melalui pemanfaatan kecepatan air. Bagian utama dari turbin kaplan/propeller yaitu rumah spiral (*scroll-case*), runner, dan pipa pelepas air (*drafttube*). Untuk lebih jelas mengenai turbin Kaplan/Propeller dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Turbin Kaplan/Propeller
(sumber : Dixon, 2010)

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin untuk desain yang sangat spesifik. Tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan memperhitungkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu :

1. Faktor tinggi jatuhan efektif air (*tinggi jatuh net*) atau aliran air (kecepatan) dan debit air yang akan mempengaruhi pemilihan jenis turbin. Sebagai salah satu contoh turbin pelton. yang beroperasi pelton yang beroperasi pada *tinggi jatuh* yang tinggi, sedangkan pada turbin propeller sangat efektif beroperasi pada *tinggi jatuh* yang renda (percepatan aliran air) dengan jumlah debit air yang besar.
2. Faktor daya yang diinginkan berkaitan dengan debit dan *tinggi jatuh* yang tersedia.

3. Faktor kecepatan putar turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh, untuk system transmisi *direct couple* antara generator dan turbin pada *tinggi jatuh* rendah, sebuah turbin reaksi (propeller) dapat mencapai putaran yang diinginkan, sementara turbin pelton dan *crossflow* berputar sangat lambat (*low speed*) yang akan menyebabkan system tidak beroperasi.

Ketiga faktor diatas sering digunakan untuk menentukan (kecepatan spesifik turbin). Pemilihan jenis turbin dapat dilakukan dengan melihat grafik karakteristik hubungan antara *tinggi jauh* net (m) dan debit aliran (m^3/s) agar didapatkan jenis turbin yang cocok sesuai dengan kondisi pengoperasiannya.

2.4 Debit Aliran

2.4.1 Pengertian Fluida dan Debit

Fluida didefinisikan sebagai zat atau substansi yang akan mengalami deformasi secara berkesinambungan apabila terkena gaya geser (gaya tangensial) sekecil apapun. Berdasarkan mampu mampatnya fluida dibagi menjadi 2 yaitu *compressible fluid* dan *incompressible fluid*. Berdasarkan sifat alirannya fluida dibagi menjadi 3 yaitu aliran laminar, transisi dan turbulen. Berdasarkan hubungan antara laju deformasi dan tegangan gesernya fluida dibagi menjadi 2 yaitu *Newtonian fluid* dan *non-newtonian fluid*. Berdasarkan gaya yang bekerja pada fluida dan gerakannya, fluida dibagi 2 yaitu fluida statis dan dinamis. (Warren L. Mc Cabe hal.103)

Debit aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/dt). Dalam laporan-laporan teknis, debit biasanya ditunjukkan dalam bentuk hidrograf aliran (Chay Asdak, 2007: 190).

Debit air yang mengalir dari suatu tempat penampungan ditentukan oleh kecepatan aliran dan luas penampang aliran, dimana semakin besar kecepatan aliran maka debit aliran juga akan semakin besar dan sebaliknya. Beragamnya nilai debit dikarenakan beragamnya kecepatan aliran pada saluran tersebut. (Luther dan Erwin, 2012).

PLTMH skala kecil sangat tergantung dengan ketersediaan air dan kondisi alam sekitar pembangkit, untuk itu perkiraan debit air dan maksimum sangat penting dalam suatu perencanaan. Untuk menghitung jumlah debit air dapat digunakan persamaan 2.

$$Q = v \times A \quad (2)$$

(Sumber : Warren L. Mc Cabe hal. 62)

keterangan :

Q = Debit aliran air (m³/s)

A = Luas penampang aliran (m²)

v = Kecepatan aliran (m/s)

Untuk mengetahui perubahan kecepatan akibat pengecilan luas penampang dapat digunakan persamaan kontinuitas pada persamaan 3.

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad (3)$$

(Sumber : Warren L. Mc Cabe hal. 62)

Keterangan :

A₁ = luas penampang bagian masuk (m²)

v₁ = kecepatan fluida pada bagian masuk (m/s)

A₂ = luas penampang bagian keluar (m²)

v₂ = kecepatan fluida pada bagian keluar (m/s)

2.4.2 Alat Ukur Aliran Fluida

Alat ukur debit air pada saluran terbuka tersebut memiliki konsep yang sederhana, yaitu hubungan antara kedalaman air dan lajunya dipengaruhi oleh bentuk dan dimensi alatnya. Perhitungan debitnya menggunakan persamaan yang menggunakan tinggi air atau *head*. Adapun pertimbangan yang biasa digunakan dalam pemilihan alat ukur tersebut antara lain biaya pembuatan dan pemasangannya, biaya perawatan, dimensi kanal, debit, dan karakteristik airnya (kejernihan, berlumpur, sampah). Biasanya pemilihan alat ukur ini didasarkan pada besar-kecilnya debit air yang akan diukur.

Dasar Pemilihan alat ukur aliran ditentukan oleh banyak faktor, hal yang penting yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

- a. Fasa fluida yang mengalir seperti gas, cairan, uap.
- b. Kondisi aliran seperti kebersihan, kekotoran, viskositas, abrasi.
- c. Kesesuaian fasa fluida dan teknologi *flowmeter*.
- d. Ukuran pipa atau saluran dan kecepatan aliran.
- e. Sifat fluida antara lain densitas, tekanan, temperatur, viskositas, dan konduktivitas.
- f. Kondisi lingkungan antara lain temperatur, tingkat korosif dan mudah meledak, metode instalasi.
- g. Posisi *flowmeter* juga perlu diperhatikan termasuk penurunan tekanan maksimum yang diizinkan, diperlukan akurasi, dan dapat diulang.

Pengukuran aliran adalah untuk mengukur kapasitas aliran, massa laju aliran, volume aliran. Pemilihan alat ukur aliran tergantung pada ketelitian, kemampuan pengukuran, harga, kemudahan pembacaan, kesederhanaan dan keawetan alat ukur tersebut. Dalam pengukuran fluida termasuk penentuan tekanan, kecepatan, debit, gradien kecepatan, turbulensi dan viskositas. Terdapat banyak cara melaksanakan pengukuran-pengukuran, misalnya secara langsung, tak langsung, gravimetrik, volumetrik, elektronik, elektromagnetik dan optik. Pengukuran debit secara langsung terdiri dari atas penentuan volume atau berat fluida yang melalui suatu penampang dalam suatu selang waktu tertentu. Metoda tak langsung bagi pengukuran debit memerlukan penentuan tinggi tekanan, perbedaan tekanan atau kecepatan di beberapa titik pada suatu penampang dan dengan besaran perhitungan debit. Metode pengukuran aliran yang paling teliti adalah penentuan gravimerik atau penentuan volumetrik dengan berat atau volume diukur atau penentuan dengan mempergunakan tangki yang dikalibrasikan untuk selang waktu yang diukur. Pada prinsipnya besar aliran fluida dapat diukur melalui:

1. Kecepatan (*velocity*)
2. Berat (massa)
3. Luas bidang yang dilaluinya
4. Volumanya

Berdasarkan hasil pengukurannya alat ukur dibedakan menjadi 2, yaitu :

- a. Kecepatan total: kecepatan alir rata-rata seluruh penampang luas aliran seperti orifis, venturi, dan rotameter.
- b. Kecepatan lokal : kecepatan fluida pada posisi tertentu seperti tabung pitot.

1. Venturi Meter

Venturi meter merupakan alat primer dari pengukuran aliran yang berfungsi untuk mendapatkan beda tekanan. Sedangkan alat untuk menunjukkan besaran aliran fluida yang diukur atau alat sekundernya adalah manometer pipa U. Venturi Meter memiliki kerugian karena harganya mahal, memerlukan ruangan yang besar dan rasio diameter *throat*nya dengan diameter pipa tidak dapat diubah. Untuk sebuah venturi meter tertentu dan sistem manometer tertentu, kecepatan aliran yang dapat diukur adalah tetap sehingga jika kecepatan aliran berubah maka diameter *throat*nya dapat diperbesar untuk memberikan pembacaan yang akurat atau diperkecil untuk mengakomodasi kecepatan aliran maksimum yang baru.

Venturi meter ini dapat dibagi 4 bagian utama yaitu :

a. Bagian *Inlet*

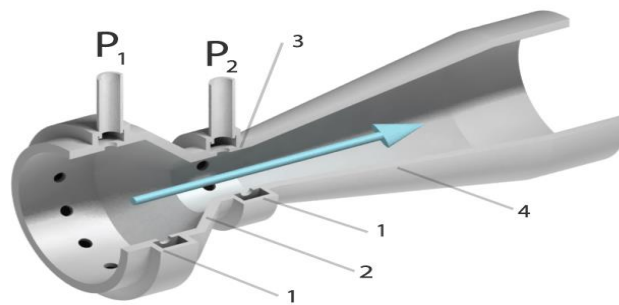
Bagian yang berbentuk lurus dengan diameter yang sama seperti diameter pipa atau cerobong aliran. Lubang tekanan awal ditempatkan pada bagian ini.

b. *Inlet Cone*

Bagian yang berbentuk seperti kerucut, yang berfungsi untuk menaikkan tekanan fluida.

c. *Throat* (leher)

Bagian tempat pengambilan beda tekanan akhir bagian ini berbentuk bulat datar. Hal ini dimaksudkan agar tidak mengurangi atau menambah kecepatan dari aliran yang keluar dari *inlet cone*. Ilustrasi venturi meter dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Venturi Meter
(Sumber : Heru Santoso, 2012).

Pada Venturi meter ini fluida masuk melalui bagian inlet dan diteruskan ke bagian *outlet cone*. Pada bagian *inlet* ini ditempatkan titik pengambilan tekanan awal. Pada bagian *inlet cone* fluida akan mengalami penurunan tekanan yang disebabkan oleh bagian *inlet cone* yang berbentuk kerucut atau semakin mengecil ke bagian throat. Kemudian fluida masuk ke bagian *throat* inilah tempat-tempat pengambilan tekanan akhir dimana throat ini berbentuk bulat datar. Lalu fluida akan melewati bagian akhir dari venturi meter yaitu *outlet cone*. *Outlet cone* ini berbentuk kerucut dimana bagian kecil berada pada *throat*, dan pada *Outlet cone* ini tekanan kembali normal.

Jika aliran melalui venturi meter itu benar-benar tanpa gesekan, maka tekanan fluida yang meninggalkan meter tentulah sama persis dengan fluida yang memasuki meteran dan keberadaan meteran dalam jalur tersebut tidak akan menyebabkan kehilangan tekanan yang bersifat permanen dalam tekanan.

Penurunan tekanan pada *inlet cone* akan dipulihkan dengan sempurna pada *outlet cone*. Gesekan tidak dapat diabaikan dan juga kehilangan tekanan yang permanen dalam sebuah meteran yang dirancang dengan tepat. Adapun kelebihan dan kekurangan alat ukur venturi meter, adalah sebagai berikut :

a. Kelebihan

1. Bila kalibrasi dan pemasangannya tepat, jenis venturimeter ini mempunyai ketelitian yang paling tinggi diantara semua alat pengukur aliran fluida yang berdasarkan beda tekanan (orifis dan *nozzle* aliran).
2. Mempunyai penurunan tekanan yang lebih kecil pada kapasitas yang sama.

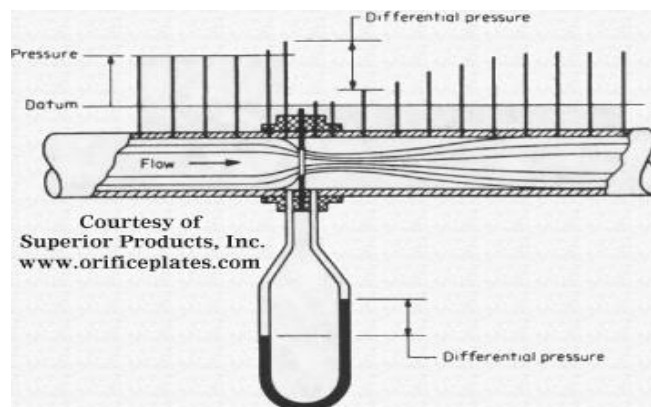
3. Dapat mengukur debit aliran yang besar
4. Jauh dari kemungkinan tersumbat kotoran.
5. Rugi tekanan permanen relatif rendah dari pada orifis atau *flow nozzle*
6. Dapat digunakan untuk mengukur cairan yang mengandung endapan padatan.

b. Kerugian

1. Dari segi biaya, venturi meter lebih mahal harganya.
2. Sulit dalam pemasangan karena panjang
3. Tidak tersedia pada ukuran pipa dibawah 6 *inches*.

2. Plat Orifis

Untuk plat orifis, fluida yang digunakan adalah jenis cair dan gas. Pada plat orifis, piringan harus bentuk plat dan tegak lurus pada sumbu pipa. Piringan tersebut harus bersih dan diletakkan pada perpipaan yang lurus untuk memastikan pola aliran yang normal dan tidak terganggu oleh *fitting*, kran atau peralatan lainnya. Prinsip dasar pengukuran plat orifis dari suatu penyempitan yang menyebabkan timbulnya suatu perbedaan tekanan pada fluida yang mengalir. Ilustrasi orifis dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Orifis

(Sumber : Heru Santoso, 2012).

Adapun kelebihan dan kekurangan alat ukur orifis, yaitu :

a. Kelebihan

1. Sederhana konstruksinya
2. Mudah pembuatannya

3. Harga murah
4. Mudah dikalibrasi
5. Mudah didapat/dibuat
6. Ketelitiannya cukup baik
7. Biaya pengadaannya awal : rendah ~ sedang
8. Dapat digunakan di hampir semua fase fluida dan kondisi aliran.
9. Strukturnya kokoh dan sederhana

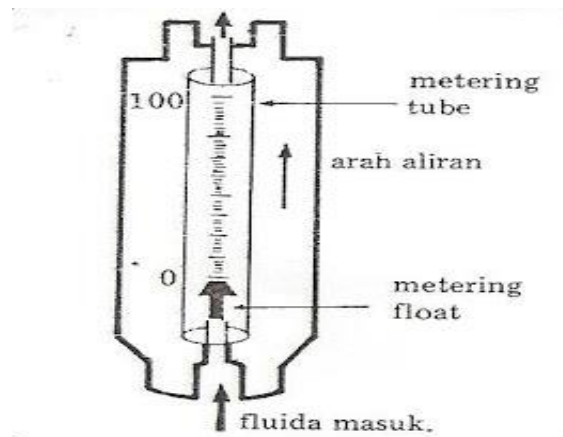
b. Kekurangan

1. Rugi tekanan (*pressure drop*) : sedang s/d tinggi

3. Rotameter

Rotameter adalah suatu alat ukur yang mengukur laju aliran berupa cairan atau gas dalam tabung tertutup. Alat ukur ini banyak dipergunakan untuk mengukur debit aliran air sesaat, satuan yang biasa digunakan adalah LPM (liter permenit) atau dalam satuan GPM (galon permenit). Rotameter adalah alat yang mengukur tingkat aliran atau gas dalam tabung tertutup. Ini termasuk dalam kelas meter yang disebut variabel area meter, yang mengukur berbagai laju aliran luas penampang fluida yang bergerak melaluinya, menyebabkan beberapa efek yang dapat diukur. Sebuah rotameter terdiri dari tabung runcing, biasanya terbuat dari kaca, dengan pelampung di dalamnya yang didorong oleh aliran dan ditarik ke bawah oleh gravitasi. Pada tingkat aliran tinggi yang melalui *float* dan tabung, *float* akan terbawa dan mengambang keatas *float* dibuat dalam beberapa bentuk, bentuk yang paling umum yaitu bulat dan elips agar dapat berputar secara vertikal ketika dilalui fluida. Gaya dan jarak angkat dari pelampung sebanding dengan laju aliran. Gaya angkat ini dihasilkan oleh tekanan differensial yang menekan pelampung hingga naik ke atas yang dinamakan area meter karena letak ketinggian pelampung itu bergantung pada luas bidang annulus diantara pelampung dan tabung gelas tirus itu. Pelampung akan naik dan menunjukkan pada skala pengukuran dengan satuan yang diketahui. Berbeda dengan orifis, venturi dan *nozzle*, ketiga alat pengukur aliran fluida ini dalam alirannya melalui luas yang tetap dimana fluida mengalir, tetapi pada rotameter adalah pada tekanan yang tetap dengan aliran

fluida yang berbeda-beda (*variable*). Ilustrasi rotameter dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Rotameter
(Sumber : Heru Santoso, 2012).

Fluida mengalir ke atas melalui tabung gelas berisi *float* yang dapat bergerak dengan bebas. Untuk menunjukkan besarnya aliran fluida metering float naik ke atas, seperti terlihat pada gambar 3. Kepala metering *float* menunjukkan angka 0, membuktikan bahwa *valve* yang terletak di bawah meteran ini belum terbuka. Rotameter bila dipasang pada pipa-pipa berukuran $\frac{1}{4}$ - 3 inci standar. Mula – mula *float* berada pada posisi setimbang (angka nol pada *scale line*) menunjukkan bahwa tidak adanya gaya yang bekerja pada *float*, dengan demikian tidak ada fluida yang mengalir. Ketika terjadi aliran fluida berakibat pada naiknya *float* ke atas akibat gaya angkat dari fluida. Pembacaan tinggi float pada *scale line* sebanding dengan perubahan besarnya aliran yang terjadi. Untuk mengukur aliran fluida dalam rotameter harus diperhatikan kesetimbangan posisi dari float dalam rotameter. Posisi *float* ditentukan oleh kesetimbangannya, yaitu oleh adanya :

1. Berat dari pada *float*
2. Gaya fluida terhadap *float*
3. Gaya tarik pada *float*

Adapun kelebihan dan kekurangan alat ukur rotameter, adalah sebagai berikut:

- a. Kelebihan

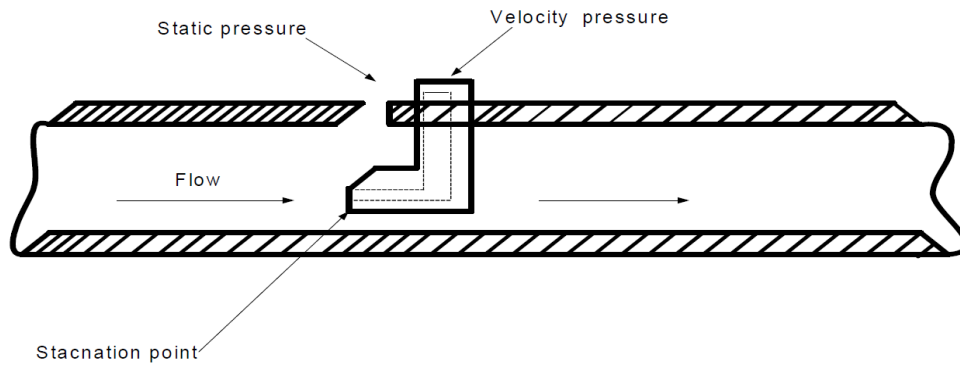
1. Sebuah rotameter tidak memerlukan tenaga atau bahan bakar eksternal, hanya menggunakan sifat-sifat yang ada pada fluida, dan juga gravitasi, untuk mengukur laju aliran.
2. Sebuah rotameter juga memiliki perangkat yang relatif sederhana yang dapat diproduksi secara massal dari bahan murah, yang memungkinkan untuk digunakan secara luas.

b. Kerugian

1. Karena menggunakan gravitasi, sebuah rotameter harus selalu berorientasi vertikal ke atas, dengan cairan yang mengalir ke atas.
2. Karena ketergantungan pada kemampuan dari cairan atau gas untuk mengambang, keluaran dari rotameter tertentu hanya akan akurat untuk suatu zat.
3. Rotameter biasanya memerlukan penggunaan kaca (atau bahan transparan lainnya), jika tidak, pengguna tidak dapat melihat mengambang.
4. Rotameter tidak mudah diadaptasi untuk pembacaan oleh mesin; walaupun pengapung magnet yang mendorong pengikut di luar tabung yang tersedia.

4. Tabung Pitot

Nama *pitot tubes* datang dari konsensip *Henry de Pitot* pada tahun 1732. *Pitot tubes* mengukur besaran aliran fluida dengan jalan menghasilkan beda tekanan yang diberikan oleh kecepatan fluida itu sendiri dapat dilihat pada Gambar 6. Sama halnya seperti *plate orifice*, *pitot tubes* membutuhkan dua lubang pengukuran tekanan untuk menghasilkan suatu beda tekanan. Pada *pitot tubes* ini biasanya fluida yang digunakan adalah jenis cairan dan gas. *Pitot tubes* terbuat dari *stainless steel* dan kuningan. Ilustrasi tabung pitot dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Tabung Pitot
(Sumber : Heru Santoso, 2012).

2.5 Konsep Dasar Pompa

2.5.1 Pengertian *Head*

Head didefinisikan sebagai energi per satuan berat fluida. dalam pompa, *head* diukur dengan cara menghitung beda tekanan total antara pipa isap dan pipa tekan, bila pengukuran dilakukan pada ketinggian yang sama. Menurut persamaan Bernoulli, terdapat tiga macam *head* dari sistem instalasi aliran, yaitu *head* kecepatan, *head* potensial dan *head* tekanan, 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.

2.5.2 Pengertian 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.

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

- a. Debit (Q)
Merupakan volum fluida yang dapat dialirkan persatuan waktu. Dalam pengujian ini pengukuran dari debit dilakukan dengan menggunakan venturimeter. Satuan dari debit (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 Nm.
- 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.

2.5.3 Klasifikasi Pompa

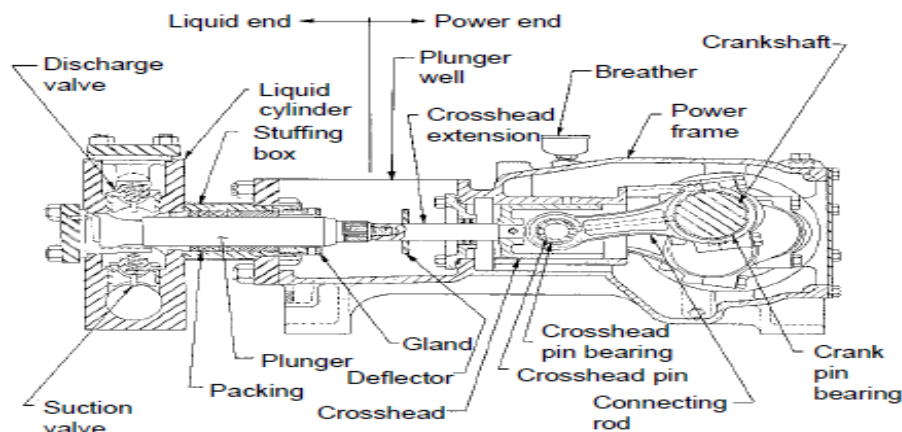
Menurut prinsip kerjanya, pompa diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu:

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. Skema pompa torak ditunjukkan pada gambar 17.



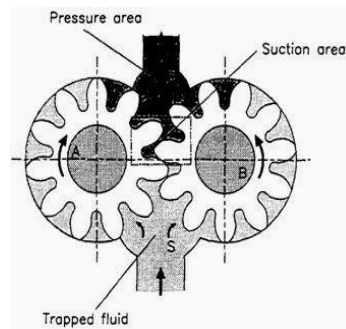
Gambar 17. Skema Pompa Torak.
(Sumber: Sularso, 2006)

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*. Macam-macam jenis *Rotary Pump* ini adalah:

a. *Gear Pump* (Pompa Roda Gigi)

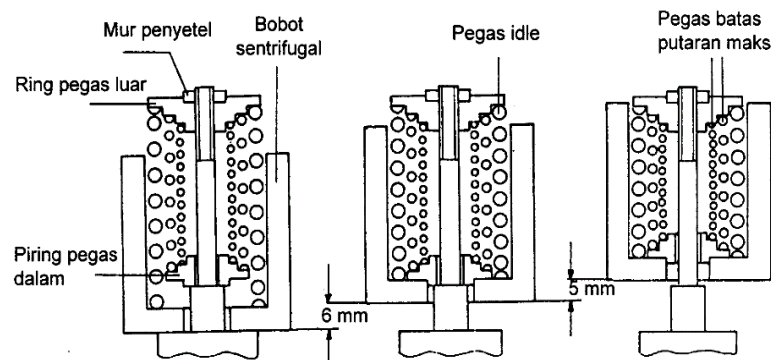
Prinsip kerja dari pompa ini adalah berputarnya dua buah roda gigi berpasangan yang terletak dalam rumah pompa akan menghisap dan menekan fluida yang dipompakan. Fluida yang mengisi ruang antar gigi ditekan ke sisi buang. Akibat diisinya ruang antar sisi tersebut maka pompa ini dapat beroperasi. Aplikasi 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 18.



Gambar 18. Pompa roda gigi.
(Sumber: Sularso, 2006)

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 19.



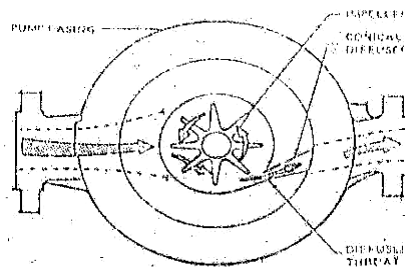
Gambar 19. Skema Pompa Piston.
(Sumber: Sularso, 2006)

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. Contoh pompa aksial terdapat pada gambar 20.



Gambar 20. Pompa Aksial

(Sumber: Sularso, 2006)

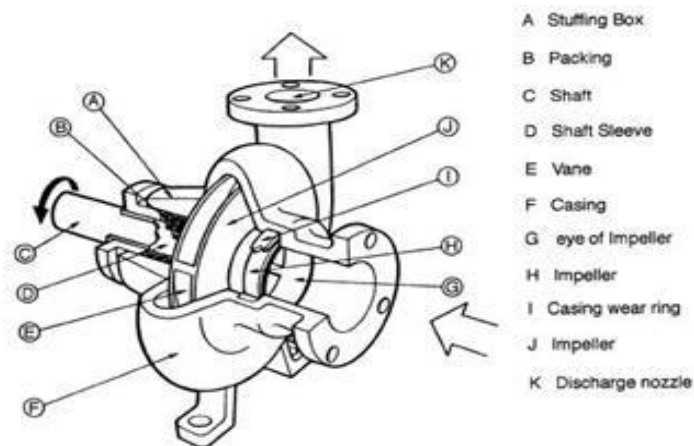
2. Pompa Sentrifugal

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 dapat dilihat pada gambar 21.



Gambar 21. Penampang Memanjang Pompa Sentrifugal
(Sumber: Sularso, 2006)

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 Generator

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. 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 dipergunakan untuk mengubah energi mekanis 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 sistim elektro magnet dan suatu alatur yang terdiri atas

sejumlah kumparan dari konduktor berisolasi yang diletakkan dalam alur (slot) inti besi berlaminasi.

Pada pengoperasiannya, rugi-rugi sangat tidak diharapkan karena dapat meningkatkan temperatur serta dapat mengurangi kinerja generator apabila nilai dan rugi – rugi ini terlalu besar. Menurut Eduward Aliansyah (2008) rugi-rugi yang terjadi pada generator arus searah dapat dikategorikan secara umum menjadi 5 kategori antara lain yaitu:

1. Rugi-Rugi Tembaga

Rugi-rugi tembaga adalah rugi-rugi daya yang terjadi di dalam kumparan medan dan kumparan jangkar generator pada saat dibebani. Karena kawat tembaga kedua kumparan tersebut memiliki nilai resistansi.

2. Rugi-Rugi Sikat

Jika kumparan jangkar generator arus searah dibebani maka akan mengalir arus pada kumparan jangkar tersebut maka sikat-sikatnya juga akan dialiri arus yang sama. Karena sikat memiliki nilai resistansi dan juga tahanan kontak antara permukaan sikat dengan komutator maka terdapat rugi jatuh tegangan pada sikat.

3. Rugi-Rugi Inti

Rugi-rugi inti terjadi di dalam jangkar generator arus searah yang disebabkan oleh perputaran jangkar di dalam medan magnet kutub-kutub dari kumparan medan. Rugi arus rugi merupakan rugi yang disebabkan oleh arus yang mengalir pada inti yang menyebabkan terjadinya panas yang dapat menaikkan temperatur generator dan menurunkan efisiensinya. Jika suatu inti besi padat digunakan sebagai inti jangkar, resistansi terhadap arus pusar ini akan menjadi kecil karena lebarnya luas penampang inti. Akibatnya, nilai arus pusar dan juga rugi arus pusarnya akan menjadi besar. Besarnya nilai arus pusar dapat dikurangi dengan membuat resistansi inti sebesar mungkin dengan merancang suatu inti yang tipis, berupa lembaran-lembaran besi bulat yang disebut laminasi-laminasi.

4. Rugi-Rugi Mekanis

Rugi-rugi mekanis di dalam generator arus searah merupakan rugi-rugi yang berhubungan dengan efek-efek mekanis. Ada dua bentuk dasar rugi-rugi

mekanis di dalam generator arus searah yaitu gesekan. Rugi-rugi gesekan adalah rugi-rugi yang disebabkan oleh pergesekan antara permukaan bagian-bagian yang berputar dengan bagian-bagian yang diam dari motor, diantaranya gesekan bearing atau bantalan peluru dengan rumah *bearing* atau dengan as rotor.

5. Rugi-Rugi Beban *Stray*

Rugi-rugi beban *stray* merupakan rugi-rugi yang disebabkan oleh arus pusar di dalam tembaga dan rugi-rugi inti tambahan di dalam besi, yang timbul karena pendistorsian fluks magnetik oleh arus beban (tidak termasuk yang disebabkan oleh jatuh tegangan IR) dan rugi-rugi hubung singkat komutasi. Besarnya rugi-rugi ini dinyatakan sebesar $\pm 1\%$ dari beban penuhnya.

Untuk menghitung energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan persamaan 4.

$$P = V \times i \quad (4)$$

(sumber : Supardi, 2015)

keterangan:

P = Energi Listrik (Watt)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)