

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

#### 2.1.1 Potensi dan Pemanfaatan Tenaga Air

Dengan perkembangan zaman yang kian hari kian meningkat ini, kebutuhan akan energi pun makin meningkat terutama energi listrik. Di Indonesia sendiri pemenuhan akan kebutuhan listrik masih menggunakan bahan bakar berupa energi fosil. Energi ini merupakan energi tidak ramah lingkungan karena menimbulkan polusi udara, air dan tanah yang berdampak pada penurunan tingkat kesehatan dan standar hidup. Selain itu, energi ini merupakan energi yang jumlahnya terbatas sehingga perlu adanya peralihan penggunaan energi terbarukan yang bersifat lebih ramah lingkungan. Berdasarkan data blueprint pengelolaan energi nasional 2005-2025 yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM) pada tahun 2005, cadangan minyak bumi, gas dan batu bara di Indonesia akan habis dalam kurun tahun tertentu ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Cadangan Energi Fosil

Jenis Energi Fosil	Cadangan	
	Indonesia	Dunia
Minyak Bumi	18 Tahun	40 Tahun
Gas Alam	61 Tahun	60 Tahun
Batubara	147 Tahun	200 Tahun

*Sumber : DESDM (2005)*

Untuk mengatasi masalah krisis energi ini maka dari itu dilakukan upaya memanfaatkan energi terbarukan. Berikut potensi energi terbarukan di Indonesia yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

Sumber Energi	Potensi (MW)	Terpasang (MW)	Pemanfaatan (MW)
Air	75.670	4.200	5,550
Biomassa	49.810	302,4	0,607
Panas Bumi	27.000	800	2,960
Mikro Hidro	458,75	84	18,30
Energi Cahaya	156,487	84	18,30
Angin	9.286	0,5	0,005
Total	318.711,75	5.391,9	27,427

Sumber : *Blueprint Pengolahan Energi Nasional (2005 – 2025)*

Berdasarkan tabel diatas, salah satu energi terbarukan yang sangat berpotensi dimanfaatkan yaitu energi air. Energi air merupakan energi yang memanfaatkan aliran air. Energi ini dapat dimanfaatkan dan dikonversikan menjadi listrik. Selain itu energi air merupakan salah satu energi yang ramah lingkungan dan bahan bakunya mudah didapat. Dengan memanfaatkan energi air menjadi sumber energi maka peluang untuk keluar dari krisis energi saat ini akan semakin besar.

### 2.1.2 Pengertian dan Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Penggunaan air sebagai sumber energi sudah dilakukan sejak lama, salah satunya dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga air. Pembangkit Listrik Tenaga Air adalah suatu pembangkit yang memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik air dimana oleh turbin keduanya diubah menjadi energi mekanik. Pemanfaatan pembangkit listrik tenaga air diklasifikasikan menurut besarnya daya yang dihasilkan. Klasifikasi umum pembangkit listrik tenaga air dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. 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, 2016).

## 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

### 2.2.1 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 100 kW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Tenaga air berasal dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik. Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Pembangkit tenaga air merupakan suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. (Very Dwiyanto, 2016).

Biasanya Mikrohidro 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*. Mikrohidro 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. 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 (Juneidy Yohanes Morong, 2016).

Mikrohidro 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).

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 Mikrohidro memberikan sebuah alternatif ekonomi ke dalam jaringan. Hal ini dikarenakan Skema Mikrohidro yang mandiri dapat menghemat dari jaringan transmisi, karena skema perluasan jaringan tersebut biasanya memerlukan biaya peralatan dan pegawai yang mahal (Stevi Nathanael Wenas, 2015).

Adapun beberapa keuntungan dapat diperoleh dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Mafruddin, 2016) adalah sebagai berikut :

- a. Dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis lain, PLTMH ini cukup murah karena menggunakan energi alam.
- b. Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat diperasikan didaerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit training.
- c. Tidak menimbulkan pencemaran.

- d. Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti sistem irigasi dan perikanan.
- e. Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.

Kekurangan dari penggunaan turbin air (PLTMH) (Mafruddin, 2016) 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.

### 2.2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit listrik tenaga air skala mikro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik. Hubungan antara turbin dengan generator dapat menggunakan jenis sambungan sabuk (*belt*) ataupun sistem *gear box*. Jenis sabuk yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis *flat belt* sedangkan *V-belt* digunakan untuk skala di bawah 20 kW. Selanjutnya listrik yang dihasilkan oleh generator ini dialirkan ke rumah-rumah dengan memasang pengaman (sekring) (SN.Wenas, 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 dipakait terlalu besar atau terlalu kecil dari debit air yang ada (SN.Wenas, 2016). Potensi daya mikrohidro dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = \rho g Q H$$

Dimana:

$P$  = Daya yang dibangkitkan PLTMH (Watt)

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

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

$Q$  = Debit aliran Air ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$H$  = beda ketinggian (m)

## 2.3 Turbin Air

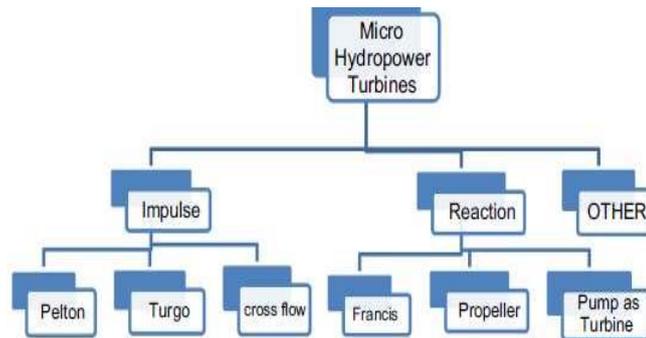
Turbin air merupakan suatu pembangkit mula-mula yang memanfaatkan energi potensial air menjadi energi mekanik dimana air memutar roda turbin. Air yang berada pada ketinggian tertentu memiliki energi potensial. Ketika air mengalir ke tempat yang lebih rendah energi potensial berubah menjadi energi kinetik. Oleh turbin air, energi kinetik dirubah menjadi energi mekanik (Juneidy Yohanes Morong,2016).

Perkembangan turbin air sudah berlangsung lama. Jenis turbin air yang paling awal dan paling sederhana adalah *waterwheel*, pertama kali digunakan oleh orang-orang Yunani dan dipergunakan luas pada abad pertengahan di Eropa. Selanjutnya berangsur-angsur muncul berbagai jenis turbin air seperti turbin pelton yang ditemukan oleh Lester A. Pelton pada abad kesembilanbelas dan turbin Kaplan yang ditemukan oleh Viktor Kaplan pada abad keduapuluh. (Dixon & Hall, 2010).

### 2.3.1 Klasifikasi Turbin

#### 2.3.1.1 Klasifikasi Turbin Berdasarkan Prinsip Kerja

Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis dengan menggunakan air sebagai fluida kerja. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. (Elbatran, et al. 2015). Adapun klasifikasi berbagai jenis turbin air yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTMH) dapat dilihat pada gambar dibawah berikut.



Gambar 1. Klasifikasi Turbin Mikrohidro

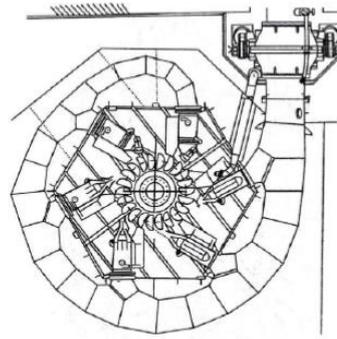
Sumber: (Elbatran, et al. 2015)

## 1. Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya merubah energi potensial (*head*) yang dimiliki air menjadi energi mekanik yang memutar poros turbin. Pada turbin impuls perubahan energi yang paling dominan terjadi di sudu pengarah (*nozzle*) yaitu energi potensial air diubah menjadi energi kinetik. Sehingga air yang keluar dari *nozzle* memiliki kecepatan tinggi untuk membentur sudu turbin dan tekanan pada air tidak berubah saat melalui ataupun keluar dari sudu penggerak (*runner*). Setelah membentur *runner* kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impulse*). Akibatnya poros turbin akan berputar (Afnan Bastian,2015). Macam–macam turbin impuls :

### a. Turbin Pelton

Turbin ini memiliki 2 bagian utama yaitu sudu penggerak (*runner*) dan sudu pengarah (*nozzle*). *Runner* terdiri dari poros turbin, piringan dan beberapa mangkuk turbin pelton yang digunakan untuk memanfaatkan energi potensial yang dimiliki air (>70 m ) dengan aliran kecil (Afnan Bastian,2015).



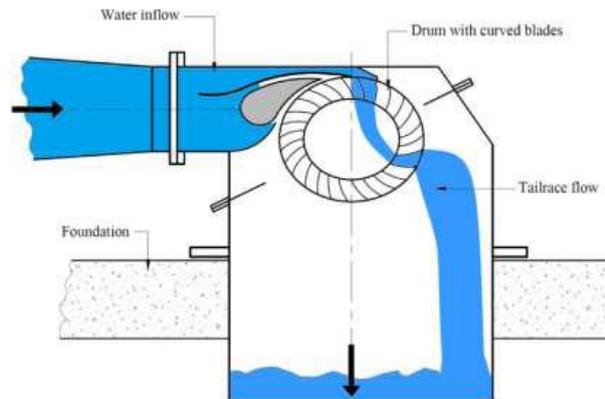
Gambar 2 . Turbin Pelton  
(Sumber:Dixson, 2010:310)

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 yang besar, sistem penyemprotan airnya dibagi lewat beberapa nosel. 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 (Afnan Bastian,2015).

b. Turbin *Michael Banki*

Turbin jenis ini sering disebut dengan turbin arus lintang (*cross flow*), karena air yang menggerakkan sudu penggerak (*runner*) melewati sudu pengarah (*nozzle*) sehingga seolah-olah terdapat fluida yang datang dari aliran yang berbeda (Afnan Bastian,2015).

Turbin Michell-Banki terdiri dari *runner*, dan *nozzle*. Prinsip kerjanya yaitu air yang keluar dari *nozzle* ditumbukkan ke *runner* sehingga terjadi perubahan energi yaitu energi kinetik air menjadi energi mekanik pada poros *runner*. Turbin ini banyak digunakan pada *head* rendah sampai menengah untuk kapasitas hingga 5 m<sup>3</sup>/s. Keunggulan konstruksinya sederhana, putaran operasi cukup tinggi dan efisiensinya stabil pada perubahan beban hingga 40% dari beban maksimum (Afnan Bastian,2015).



Gambar 3. Turbin *Michael Banki*  
(Sumber: Loots, et al. 2015)

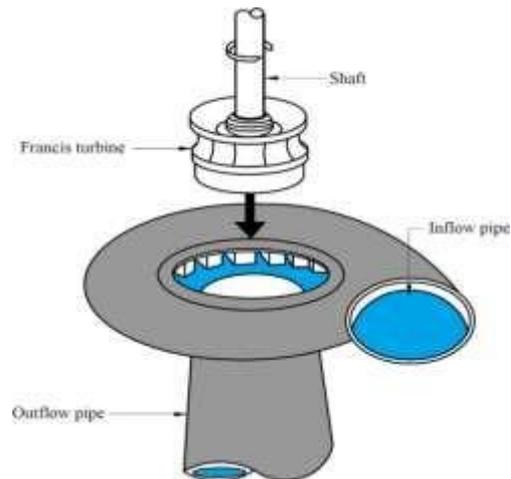
## 2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang cara kerjanya merubah energi potensial (*head*) yang dimiliki air menjadi energi mekanik yang memutar poros turbin. Pada turbin reaksi perubahan energi yang paling dominan terjadi di sudu pengarah (*nozzle*) dan sudu penggerak (*runner*) yaitu energi potensial air diubah menjadi energi kinetik melalui *nozzle* kemudian energi kinetik diubah menjadi energi mekanik melalui *runner*. Sehingga poros turbin tersebut akan berputar (Afnan Bastian,2015).

Macam–macam turbin reaksi:

### a. Turbin Francis

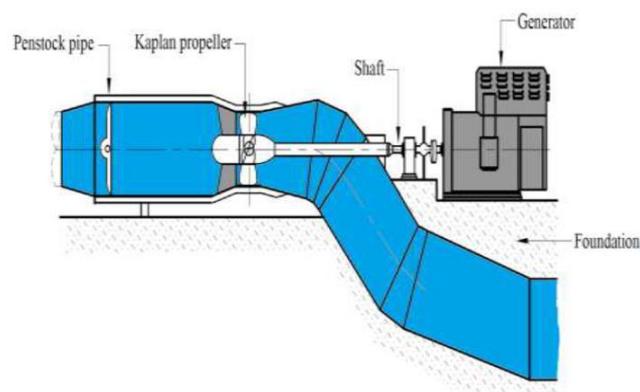
Turbin francis yaitu turbin yang memiliki 3 bagian utama yaitu rumah turbin (*casing*), sudu penggerak (*runner*) dan sudu pengarah (*nozzle*) yang mengelilingi *runner* dimana semua komponen tersebut terbenam ke dalam air. Turbin francis digunakan untuk memanfaatkan energi potensial pada ketinggian menengah (dari beberapa puluh meter sampai 100 m). Selain itu turbin francis dapat menghasilkan kecepatan putaran poros tinggi yang biasanya digunakan untuk menggerakkan generator (Afnan Bastian,2015).



Gambar 4. Turbin Francis  
(Sumber: Loots, et al. 2015)

b. Turbin Kaplan

Turbin kaplan adalah turbin air jenis propeller yang memiliki blade yang dapat disesuaikan. Selain itu sudu-sudu pengarahnya dapat diatur sesuai dengan kondisi operasi pada saat itu. Keuntungan memilih turbin kaplan yaitu kecepatan putaran bisa dipilih lebih tinggi, ukurannya lebih kecil karena poros turbin bisa dihubungkan langsung dengan generator. Harganya murah bila dipakai pada saat pembangkit yang besar (Afnan Bastian,2015).



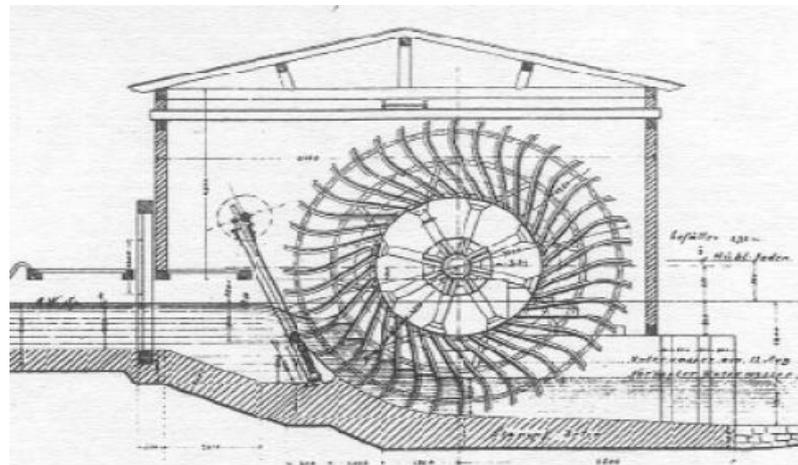
Gambar 5. Turbin Kaplan  
(Sumber: Loots, et al. 2015)

**2.3.1.2 Klasifikasi Turbin Berdasarkan Sistem Aliran Air**

Turbin air atau kincir air dapat diklasifikasikan berdasarkan sistem aliran air pendorong yaitu titik darimana air akan mendorong sudu kincir air. Berikut adalah klasifikasi turbin air berdasarkan titik penembak air pipa pesat (Juneidy Yohanes Morong,2016).

1. Undershot :

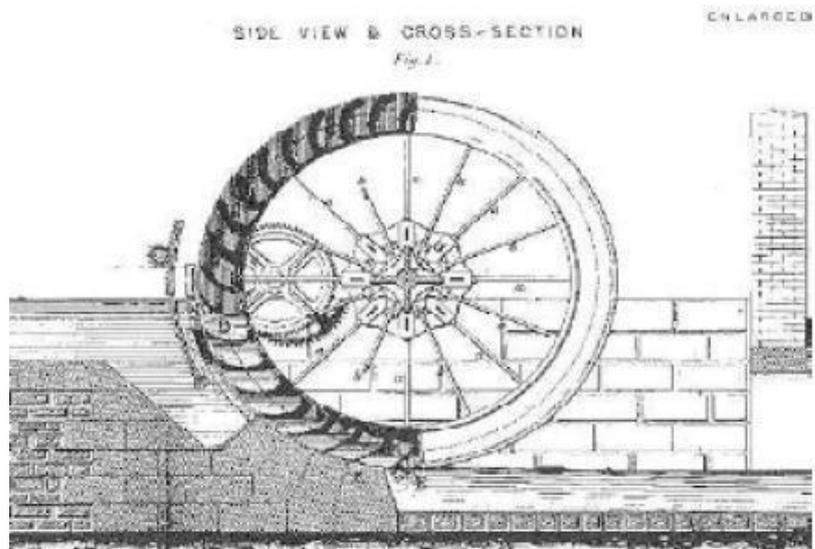
Gambar 6 merupakan kincir air tipe undershot, tipe undershot adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian bawah kincir (Juneidy Yohanes Morong,2016). Berikut adalah kincir air tipe undershot :



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

2. Breastshot :

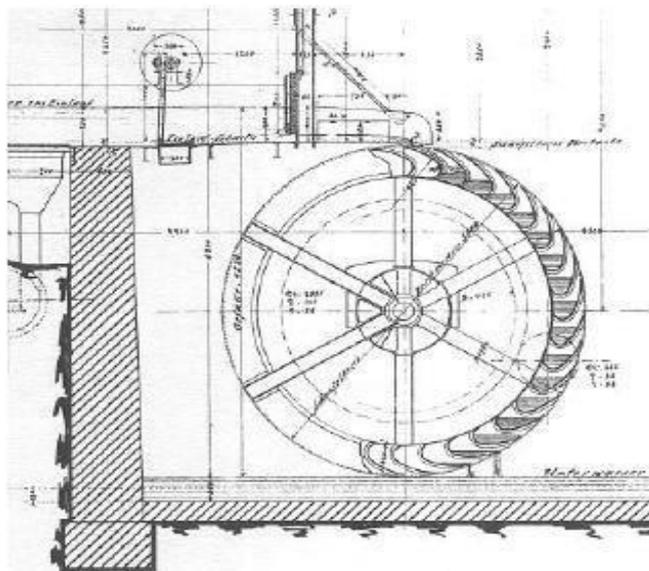
Gambar 7 merupakan kincir air tipe breastshot. Tipe breastshot adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian tengah kincir (Juneidy Yohanes Morong,2016). Berikut adalah kincir air tipe breastshot:



Gambar 7. Kincir Air Tipe *Breastshot*  
( Sumber : Juneidy Morong, 2016)

3. Overshot :

Gambar 8 merupakan kincir air tipe overshot, tipe overshot adalah tipe kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian atas kincir (Juneidy Yohanes Morong,2016). Berikut adalah kincir air tipe overshot :



Gambar 8. Kincir Air Tipe *Overshot*  
( Sumber : Juneidy Morong, 2016)

## 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 dibalikan menyamping (Anjar Susatyo & Lukman Hakim, 2003).

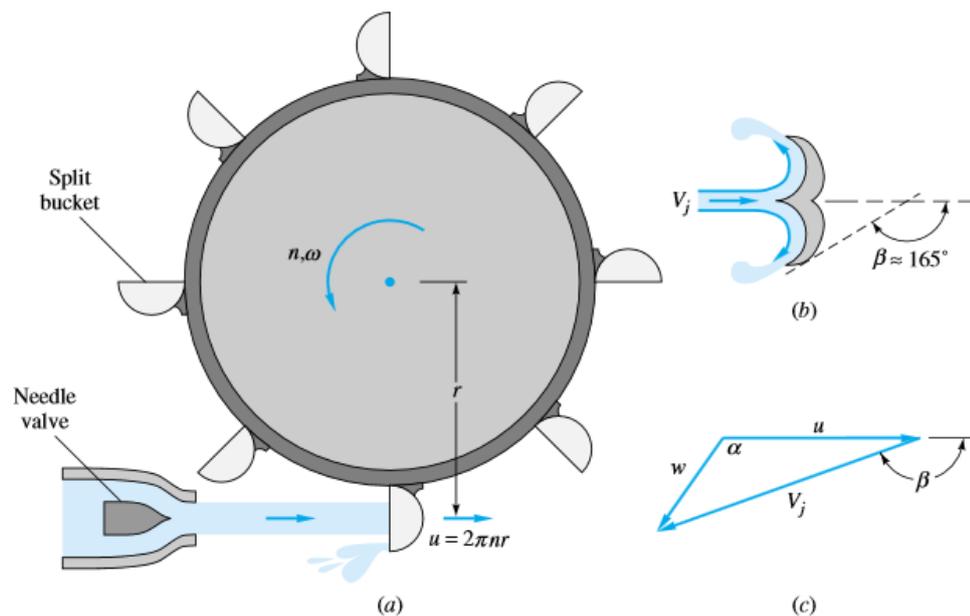
Pada turbin Pelton putaran terjadi akibat pembelokan pada mangkok ganda runner yang dapat dilihat pada gambar 6, oleh sebab itu turbin Pelton disebut juga sebagai turbin pancaran bebas. Turbin Pelton merupakan suatu jenis turbin yang mengandalkan suatu reaksi impuls dari suatu daya yang dihasilkan dari 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 (Anjar Susatyo & Lukman Hakim, 2003).

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 nosel. 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 (Aditya Ferdianto, 2014).

Turbin Pelton juga dikenal sebagai turbin pancaran bebas, karena aliran yang keluar dari nosel, tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer di sekitarnya. Semua energi ketinggian tempat ( $H$ ) dan tekanan ketika masuk ke sudu turbin diubah menjadi energi kecepatan. Pancaran air yang keluar dari nosel akan mengenai bagian tengah-tengah penampang sudu yang mempunyai penampang berbentuk cawan-belah elips. Bentuk penampang demikian

dimaksudkan agar biasa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu-sudu dari gaya samping (Diyan Poerwoko, 2016).

Dengan mengatur pancaran air yang diperoleh akibat ketinggian tempat ( $H$ ) dan tekanan air tertentu, maka akan didapatkan putaran roda turbin dengan kecepatan ( $u$ ). Dengan kata lain, berputarnya roda turbin dengan kecepatan ( $u$ ) ini adalah akibat adanya suatu gaya ( $F$ ) yang bekerja pada roda turbin tersebut yang disebabkan oleh kecepatan semburan air ( $V_j$ ) melalui nosel (Diyan Poerwoko, 2016).



Gambar 9. Turbin Pelton  
(Sumber : Kjartan Furnes, 2013)

Dalam pengujian turbin pelton oleh Dyan Poerwoko dijelaskan, besarnya gaya ( $F$ ) yang diberikan kepada roda Pelton melalui sudu roda turbinnya secara teoritis dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$F = \rho Q (V_j - u) (1 - \cos \beta)$$

Hubungan besarnya gaya ( $F$ ) yang diberikan pada sudu turbin dengan kecepatan linier roda turbin ( $u$ ) akan diperoleh suatu daya teoritis turbin yang diturunkan dalam bentuk persamaan:

$$N_t = F \cdot u = \rho \cdot Q \cdot u (V_j - u) (1 - \cos \beta)$$

dengan:

$N_t$  = daya teoritis yang diberikan pada roda turbin Pelton [N].

$F$  = gaya air yang diberikan pada roda turbin Pelton [N].

$\rho$  = massa jenis air [ $kg/cm^3$ ].

$Q$  = debit air [liter/menit].

$V_j$  = kecepatan semburan air [m/det].

$u$  = kecepatan linier roda turbin [m/det].

$\cos \beta$  = sudut ember =  $\cos 165^\circ = 0,97$ .

Dari persamaan diatas adalah  $V_j$  (kecepatan semburan air), kalau noselnya sempurna maka seluruh ketinggian (*head*) diubah menjadi kecepatan semburan air dengan rumus:  $V_j = (2 \cdot g \cdot H)^{1/2}$ . Namun pada kenyataannya, ada kerugian pada nosel sebesar 2 sampai 8% yang digunakan oleh koefisien kecepatan ( $C_v$ ), sehingga:

$$V_j = C_v (2 \cdot g \cdot H)^{1/2}$$

dengan:

$V_j$  = kecepatan semburan air [m/det].

$C_v$  = koefisien kecepatan (0,92 - 0,98).

$g$  = gaya gravitasi (9,8 m/det<sup>2</sup>).

$H$  = tinggi air jatuh (*Head*) [m].

Sedangkan kecepatan linier roda turbin ( $u$ ) seperti terlihat pada gambar 1, ditulis dalam bentuk persamaan:

$$u = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot r$$

dengan:

$n$  = putaran roda turbin [rpm].

$r$  = jari-jari roda turbin [m].

Daya teoritis suatu turbin impuls merupakan fungsi parabolik dari kecepatan sudu/ember  $u$  dan mencapai maksimum bila  $dN_p/du = 0$ , atau:

$$u = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot r = 1/2 V_j$$

Ciri lain dari turbin Pelton adalah layaknya turbin impuls, maka turbin ini mempunyai hulu (*Head*) yang tinggi namun mempunyai kecepatan spesifik ( $n_q$ ) yang relatif rendah. Kecepatan spesifik suatu turbin adalah merupakan dasar untuk menentukan besaran-besaran selanjutnya dalam merancang turbin Pelton, seperti misalnya untuk mendapatkan tinggi air jatuh yang maksimum ( $H_{max}$ ), jumlah sudu roda turbin, jumlah nosel, perbandingan diameter lingkaran sudu yang kena pancaran air dengan diameter pancaran air ( $D/d$ ), randemen ( $\eta$ ) yang diharapkan, kondisi kerja turbin, dll . Dalam bentuk persamaan kecepatan spesifik turbin ( $n_q$ ) ditulis sebagai berikut:

$$n_q = \frac{n\sqrt{V}}{H^{3/4}}$$

dengan:

$n$  = kecepatan roda turbin yang ditentukan [*rpm*].

$V$  = kapasitas air [ $m^3/detik$ ].

$H$  = tinggi air jatuh [*m*].

Bila disebutkan, maka kecepatan spesifik ( $n_q$ ) suatu turbin adalah jumlah putaran roda turbin yang bekerja pada tinggi air jatuh ( $H = 1 m$ ) dan kapasitas air ( $V = 1 m/detik$ ) dengan jumlah putaran yang tertentu ( $n/menit$ ).

Dalam keterangan diatas telah dibahas mengenai daya turbin secara teoritis. Daya yang dihasilkan dari persamaan tersebut dapat dikatakan sebagai input dari suatu proses. Jika daya turbin tadi dihubungkan pada suatu sistem aplikasi (generator listrik, pompa, baling-baling, dll), maka daya turbin akan berubah menjadi daya poros (output). Daya poros terjadi karena adanya beban (dari sistem aplikasi) ke poros dinamometer proni ( $N_p$ ). Dalam bentuk persamaan ditulis sebagai berikut:

$$N_p = M_t \cdot \omega$$

dengan:

$N_p$  = daya poros [*watt*].

$M_t$  = momen puntir [*Nm*].

$\omega$  = kecepatan sudut =  $2\pi.n/60$  [*rad/det*].

$n$  = putaran poros turbin [*rpm*]

### 2.4.1 Komponen Utama Turbin Pelton

Pada dasarnya Turbin Pelton mempunyai empat komponen utama yaitu runner, sudu turbin, nozzle dan rumah turbin.

#### 1. *Runner*

*Runner* turbin Pelton terdiri atas cakra dan sejumlah sudu yang terpasang disekelilingnya. Cakra dipasang ke poros dengan sambungan pasak. *Runner* kebanyakan merupakan coran tunggal dari baja dengan kandungan 13% Cr. *Runner* Pelton terbesar memiliki garis tengah lebih dari 5 meter dan berat lebih dari 40 Ton. Selain itu ada pula runner yang antara cakra dengan sudunya terpisah, dimana pemasangan mangkok ke cakra *runner* ada bermacam macam cara (May Martin Situmorang, 2013).

#### 2. 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 (Cokorda Prapti,S.T.,MEng, dkk, 2014).

#### 3. *Nozzle*.

*Nozzle* ini berfungsi untuk mengarahkan pancaran air ke sudu-sudu turbin dan 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 (Cokorda Prapti,S.T.,MEng, dkk, 2014).

#### 4. Rumah Turbin.

Rumah Turbin ini 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 raner rusak dan terlempar saat turbin beroperasi (Cokorda Prapti,S.T.,MEng, dkk, 2014).

### 2.4.2 Parameter-parameter Desain *Prototype* Turbin Pelton

Parameter perencanaan turbin secara manual dapat ditentukan dengan rumus (Patty, 1995) sebagai berikut:

- Tebal Pancaran :  $A = Q/V$
- Jarak Antar Sudu ;  $s_1 = kD_1$  ; maka  $t = s_1/\sin\beta_1$
- Jumlah Sudu, jarak antar sudu  $t$  dan jumlah sudu ( $n$ ) diperoleh :  

$$N = \pi.D_1/t$$
- Lebar Keliling Radial ;  $a = 0,17.D_1$
- Kelengkungan Sudu ;  $\rho = 0,326.r_1$
- Jarak Pancaran dari Pusat Poros ;  $y_1 = (0,1986 - 0,945.k)D_1$
- Jarak Pancaran dari Tepi Dalam Runner ;  $y_2 = (0,1314 - 0,945.k)D_1$

## 2.5 Pompa

Pompa merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut. Kenaikan tekanan cairan tersebut digunakan untuk mengatasi hambatan-hambatan pengaliran. Hambatan-hambatan pengaliran itu dapat berupa perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian atau hambatan gesek (H Ar Royyan, 2013).

### 2.5.1 Klasifikasi Pompa

Klasifikasi pompa secara umum dapat diklasifikasikan menjadi 2 bagian yaitu pompa kerja positif (*positive displacement pump*) dan pompa kerja dinamis (*non positive displacement pump*) (H Ar Royyan, 2013).

#### A. Pompa pemindah positif (*positive displacement pump*)

Pompa jenis ini merupakan pompa dengan ruangan kerja yang secara periodik berubah dari besar ke kecil atau sebaliknya, selama pompa bekerja. Energi yang diberikan kepada cairan ialah energi potensial, sehingga cairan berpindah volume per volume. Yang termasuk dalam kelompok pompa pemindah positif antara lain :

- a. Pompa Reciprocating
  - Pompa torak
  - Pompa plunger
- b. Pompa Diaphragma
- c. Pompa Rotari

#### B. Pompa kerja dinamis (*non positive displacement pump*)

Pompa jenis ini adalah suatu pompa dengan volume ruang yang tidak berubah pada saat pompa bekerja. Energi yang diberikan pada cairan adalah enersi kecepatan, sehingga cairan berpindah karena adanya perubahan energi kecepatan yang kemudian dirubah menjadi energi dinamis di dalam rumah pompa itu sendiri. Yang termasuk dalam kelompok pompa kerja dinamis antara lain:

- a. Pompa kerja khusus
  - Pompa Jet
  - Pompa Hydran
  - Pompa Elektromagnetik
- b. Pompa Sentrifugal (*Centrifugal Pumps*)
- c. Pompa Aksial

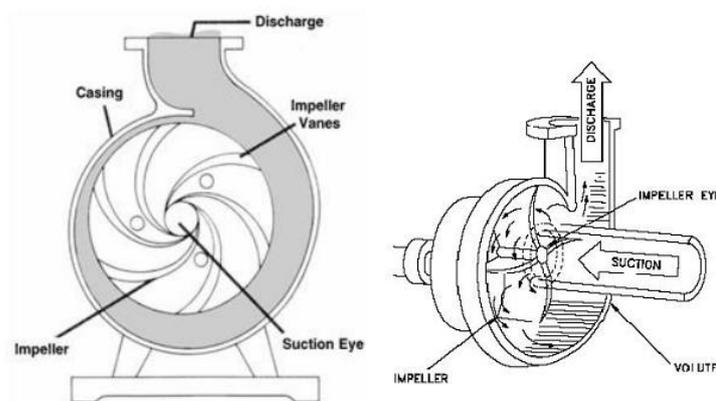
#### 2.5.2 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah pompa non positive displacement yang memanfaatkan gerakan berputar impeler sehingga membawa fluida kearah luar pusat putaran (gaya sentrifugal). Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (suction) dengan bagian keluar (discharge). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan), dimana tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran (Ismail Saleh, 2012).

Pompa sentrifugal terbagi lagi menjadi pompa radial dan pompa aksial. Perbedaannya yaitu pada sisi buang (discharge) pompa dimana pada pompa sentrifugal sisi buang pompa tegak lurus dengan sisi hisap sedangkan pada

pompa aksial, sisi buang segaris dengan sisi hisap pompa. Umumnya orang menyebut pompa radial dengan sebutan pompa sentrifugal sedangkan pompa aksial disebut pompa aksial atau propeller (Ismail Saleh, 2012).

Pompa sentrifugal (radial) memiliki karakteristik utama yaitu head besar. Sehingga banyak dipilih untuk industry. Sedangkan pompa aksial (propeller) memiliki karakteristik utama yaitu head rendah dengan aliran/debit besar. Sehingga dipilih untuk sistim pengairan atau dipakai pada sistim propulsi waterjet (Ismail Saleh, 2012).



Gambar 10. Pompa Sentrifugal  
(Sumber: [http://en.wikipedia.org/wiki/sentrifugal\\_pump](http://en.wikipedia.org/wiki/sentrifugal_pump))

### 2.5.3 Cara Kerja Pompa Sentrifugal

Impeller adalah semacam piringan berongga dengan sudu-sudu melengkung di dalamnya dan dipasang pada poros yang digerakkan oleh motor listrik, mesin uap atau turbin uap. Pada bagian samping dari impeller dekat dengan poros, dihubungkan dengan saluran isap, dan cairan (air, minyak, dll) masuk ke dalam impeller yang berputar melalui saluran tersebut. Dan karena gerakan berputar dari impeller maka cairan yang terdapat pada bagian tersebut ikut berputar akibat gaya sentrifugal yang terjadi, air didesak keluar menjauhi pusat, dan masuk dalam ruangan antara keliling impeller bagian luar dan rumah pompa, dan menuju ke saluran keluar (Ismail Saleh, 2012).

## 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 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 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 (Mansen Saragih, 2010).

## 2.7 Aliran Fluida (Debit)

Debit adalah suatu koefisien yang menyatakan banyaknya air yang mengalir dari suatu sumber persatuan waktu, biasanya diukur dalam satuan liter per/detik, untuk memenuhi kebutuhan air pengairan, debit air harus lebih cukup untuk disalurkan ke saluran yang telah disiapkan (Dumiary, 1992).

Penentuan debit dapat dilakukan dengan dua cara yaitu melalui data debit yang diperoleh dari Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) dan melalui pengukuran langsung yang menghasilkan debit sesaat. Pembangunan PLTMH yang mengambil aliran air langsung dari sungai tanpa menggunakan bendungan atau waduk sebagai penyimpan air, maka perlu memperhatikan debit andalan dari sungai yang disadap. Debit andalan adalah dapat dipakai untuk berbagai keperluan yang dinyatakan presentase. Untuk pembangkit listrik tenaga air debit andalan yang digunakan adalah 80% - 90%. Debit andalan 80% ( $Q_{80\%}$ ) artinya debit yang selalu disamai dan dilampaui sepanjang 80% waktu, apabila satuan waktu dalam hari (1 tahun= 365 hari) maka debit andalan 80% adalah debit minimum dan selebihnya selama 80% dikalikan 365 hari. Pengukuran debit aliran dapat dilakukan dengan mengukur waktu tempuh pelampung untuk panjang atau jarak tertentu yang ditentukan. Dari besaran jarak dan waktu dapat dihitung kecepatan air. Karena pelampung hanya mengukur kecepatan pada permukaan air diperlukan modifikasi (mengisi pelampung dengan air agar massa jenisnya hampir sama dengan air sehingga melayang) agar kecepatannya bisa mewakili seluruh luas penampang (Menik Windarti, 2014).

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 (Zulfa Fuadi Suharjo, 2014). Untuk menghitung jumlah debit air dapat digunakan persamaan berikut.

$$Q = A.v$$

Dimana :

$Q$  = Debit aliran air ( $m^3/s$ )

$A$  = Luas penampang aliran ( $m^2$ )

$v$  = Kecepatan aliran ( $m/s$ )

## 2.7.1 Alat Ukur Aliran Fluida (Debit)

### A. Tabung Venturi

*Tabung Venturi* adalah suatu alat yang terdiri dari pipa dengan penyempitan dibagian tengah yang dipasang di dalam suatu pipa aliran untuk mengukur kecepatan aliran suatu zat cair. Fluida yang digunakan pada venturi meter ini dapat berupa cairan gas dan uap (Arbi Divo, 2010).

Tabung Venturi ini merupakan alat primer dari pengukuran aliran yang berfungsi untuk mendapatkan beda tekanannya dapat dilihat pada gambar 11. Sedangkan alat untuk menunjukkan besaran aliran fluida yang diukur atau alat sekundernya adalah manometer tabung U. Tabung Venturi memiliki kerugian praktek tertentu karena harganya mahal, memerlukan ruang yang besar dan rasio diameter throatnya dengan diameter pipa tidak dapat diubah (Arbi Divo, 2010).

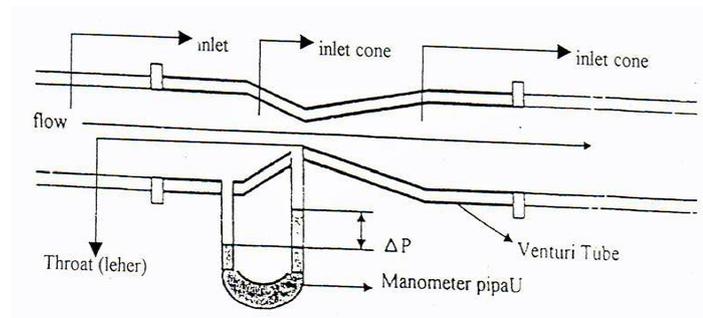
Untuk sebuah tabung venturi tertentu dan sistem manometer tertentu, kecepatan aliran yang dapat diukur adalah tetap sehingga jika kecepatan aliran maka diameter throatnya dapat diperbesar untuk memberikan pembacaan yang akurat atau diperkecil untuk mengakomodasi kecepatan aliran maksimum yang baru (Arbi Divo, 2010).

Pada venturi ini fluida masuk melalui bagian inlet dan diteruskan kebagian inle 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 kebagian throat (Arbi Divo, 2010).

Kemudian fluida akan masuk kebagian throat, pada bagian throat inilah tempat-tempat pengambilan tekanan akhir dimana throat ini berbentuk bulat datar. Laju fluida akan melewati bagian akhir dari tabung venturi yaitu outlet cone. Outlet cone ini berbentuk kerucut dimana bagian kecil berada pada throat dan pada outlet cone ini tekanan akan kembali normal (Arbi Divo, 2010).

Jika aliran melalui tabung venturi benar-benar tanpa gesekan, maka tekanan fluida yang meninggalkan meteran tentulah sama persis dengan tekanan fluida yang memasuki meteran dan keberadaan meteran dalam jalur tersebut tidak akan menyebabkan kehilangan tekanan yang bersifat permanen dalam tekanan (Arbi Divo, 2010).

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 (Arbi Divo, 2010).



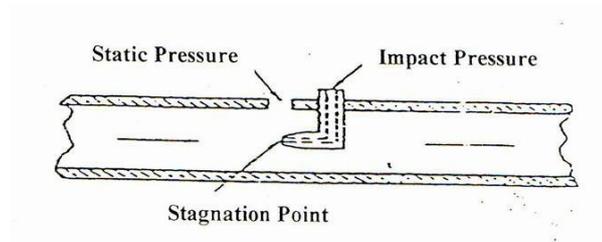
Gambar 11. Tabung Venturi  
( Sumber : Arbi Divo, 2010)

## B. Plat Orifice

*Plat orifice* merupakan pengukur aliran yang paling murah, paling mudah pemasangannya tetapi kecil juga ketelitiannya di antara pengukur-pengukur aliran jenis head flow meter. Pelat orifice merupakan plat yang berlubang dengan piringan tajam. Pelat-pelat ini terbuat dari bahan-bahan yang kuat. selain terbuat dari logam, ada juga orificenya yang terbuat dari plastic agar tidak terpengaruh oleh fluida yang mengalir (erosi atau korosi) (Arbi Divo, 2010).

## C. Pitot Tubes

Nama pitot tubes datang dari konsepsi 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 12, sama halnya seperti plat orifice, pitot tubes membutuhkan dua lubang pengukur tekanan untuk menghasilkan sesuatu beda tekanan. Pada pitot tube ini biasanya fluida yang digunakan adalah jenis cairan dan gas. Pitot tubes terbuat dari stainless steel dan kuningan (Arbi Divo, 2010).



Gambar 12. Pitot Tube  
( Sumber : Arbi Divo, 2010)

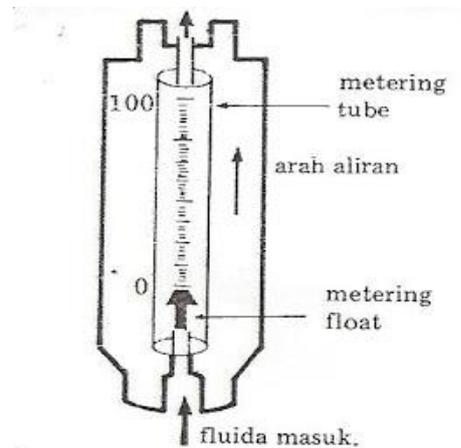
Pada dasarnya prinsip kerja dari alat ini sama dengan tabung venturi dan plat orifice yaitu bila aliran fluida yang mengalir melalui alat ini maka akan terjadi perbedaan tekanan sebelum dan sesudah alat ini. Beda tekanan menjadi lebih besar bila laju arus yang diberikan kepada alat ini bertambah (Arbi Divo, 2010).

#### D. 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 diggerensial 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 nozel, 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*).



Gambar 13. 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 13. 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.