

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)**

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yaitu suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak, seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan dan jumlah debit air (Riadi, 2016). Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (resources) penghasil listrik adalah yang memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu serta instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Klasifikasi umum pembangkit listrik tenaga air dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini:

**Tabel 2.1.** Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

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

*(Kumar,2008)*

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

#### **2.2. Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)**

Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), kincir dan alternator. 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). Potensi daya mikrohidro dapat dihitung dengan persamaan 1 dibawah ini:

$$P = \rho g Q H \eta \quad (\text{Kumar, 2008})$$

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)

$\eta$  = efisiensi sistem PLTMH, efisiensi sistem PLTMH umumnya 0,85 .

### 2.3. Turbin Air

Turbin air adalah mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air. (Arismunandar, W., 2004:1). Secara umum, turbin adalah alat mekanik yang terdiri dari poros dan sudu-sudu. Sudu tetap atau *stationary blade*, tidak ikut berputar bersama poros dan berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar dan *rotary blade*, mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga timbul gaya yang memutar poros. Air biasanya dianggap sebagai fluida yang tak kompresibel, yaitu fluida yang secara virtual massa jenisnya tidak berubah dengan tekanan. Penggerak utama pada pembangkit daya listrik tenaga air adalah turbin air, di mana energi fluida diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk kerja poros, keluaran daya dari kerja poros pada umumnya dinyatakan dalam kW. Dalam proses aliran didalam pipa, energi potensial akan berubah menjadi energi kinetik. Didalam turbin, energi kinetik air diubah menjadi energi mekanis dimana air akan memutar roda turbin yang ditransmisikan pada generator untuk menghasilkan energi listrik. Untuk menghitung energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan persamaan berikut.

$$P_{\text{listrik}} = V \cdot I \quad (\text{Poernomo dan Fasha, 2012})$$

Dimana:  $P_{\text{listrik}}$  = Energi Listrik (Watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

#### 2.3.1 Karakteristik Turbin Air

Setiap turbin air mempunyai karakteristik atau ciri khas. Karakteristik dari beberapa turbin air dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.2.** Karakteristik Turbin Air

<b>Turbin Hidrolik</b>	<b>H (m)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>N<sub>s</sub> (rpm)</b>	
Bulb	2 – 10	3 – 40	200 – 450	
Reaksi	Kaplan dan Propeller-aliran aksial	2 – 20	3 – 50	250 – 700
	Francis dengan kecepatan spesifik tinggi- aliran diagonal	10 – 40	0,7 – 10	100 – 250
	Francis dengan kecepatan- spesifik rendah	40 – 200	1 – 20	30 – 100
Impulse	Pelton	60 – 1000	0,2 – 5	<30
	Turgo	30 – 200		
	Cross-Flow	2 – 50	0,01 – 0,12	<30

(Ramos, 2008)

### 2.3.2 Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Aliran Arah Air Pendorong

Rancangan yang sistematis dari turbin air dimulai abad ke 18, dimana banyak dilakukan riset untuk meningkatkan kinerja turbin air yang telah dibangun, yang akhirnya menuju ke konstruksi turbin air. Turbin air yang dirancang secara teoritis, dikembangkan oleh Poncelet ada banyak digunakan di Inggris pada awal abad 19.

Turbin air dapat diklasifikasikan secara garis besar menjadi tiga grup, tergantung dari cara atau prinsip air menggerakkan turbin. Ketiga kelompok tersebut adalah :

1. Berdasarkan gaya berat dari air (*gravity*)
2. Berdasarkan sebagian dari gaya berat air dan sebagian lain dari dorongan (*impulse*) dari air.
3. Berdasarkan murni dari dorongan air.

Dengan memperhatikan bagaimana air tersebut dimanfaatkan, dari beberapa tipe turbin air yang pernah digunakan, dikenal ada tiga tipe, yaitu : *Overshoot* , *Breastshoot* dan *Undershoot* (Morong, 2016).

Klasifikasi turbin air berdasarkan arah aliran pendorong dijelaskan sebagai berikut:

**a. *Overshoot***

Tipe *overshoot* adalah tipe turbin air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian atas turbin. Pada turbin air jenis ini, air dimasukkan ke sudu gerak (*bucket*) melalui bagian atas roda turbin, seperti Gambar 2.1. Turbin air jenis ini, murni memanfaatkan gaya berat air untuk beroperasi. Sebenarnya, dapat juga dikatakan ada sebagian kecil dorongan dari air yang dialirkan ke bucket.

Air dari permukaan atas (*head race*), masuk ke sudu gerak melalui pintu air (*seluicgate*) yang dapat diatur bukaannya. Besar kecilnya bukaan pintu air ini untuk mengatur putaran kincir air sesuai dengan yang diinginkan, karena pembebanan kincir yang bervariasi pada waktu yang berbeda. Gaya berat air mendorong sudu gerak ke bawah, dan membuat kincir berputar. Pada posisi sudu gerak mendekati bagian bawah, isi airnya berangsur menjadi kosong, karena bentuk geometri sudu gerak yang dirancang untuk ini. Rancangan kincir air yang dihasilkan kinerja yang baik, antara lain adalah mengatur sudu gerak sehingga energi air dapat dimanfaatkan secara optimal. Kadang posisi kincir diatur agak kebawah, agar pancaran air juga dapat dimanfaatkan. Pada kondisi ini, roda kincir digerakkan oleh sebagian karena gaya berat air, dan sebagian lain oleh dorongan air.

Pada tipe *Overshoot* terbagi menjadi dua, yaitu *Overshoot Horizontal* dan *Overshoot Vertikal*. Pada arah aliran *overshoot horizontal*, kerja yang dihasilkan oleh turbin *crossflow* dihasilkan dari aliran fluida yang mengalir ke sudu bagian atas akibat kecepatan aliran serta dibantu gaya berat jatuh (gaya gravitasi) fluida tersebut, Sementara pada arah *overshoot vertikal* hanya menggunakan gaya berat air jatuh (Jatmiko, 2010). Sebuah roda *overshoot* khas memiliki air disalurkan ke roda bagian atas dan sedikit diluar as roda. Air dalam ember mengumpul pada sisi roda, sehingga berat dari sisi lain “kosong” dan air mengalir keluar ke dalam air ekor ketika roda berputar cukup untuk mengembalikan ember (Prayatmo, 2007).

Adapun keuntungan dari tipe *overshoot* adalah sebagai berikut:

- 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 terisolir.

Adapun kerugian dari tipe *overshoot* adalah sebagai berikut:

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

#### **b. *Breastshoot***

Tipe *breastshoot* adalah tipe turbin air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian tengah turbin. Turbin air jenis *breast wheel*, air masuk ke sudu gerak di ketinggian tengah-tengah roda turbin (*breast*), seperti Gambar 2.2. Roda turbin digerakkan oleh kombinasi gaya berat air dan dorongan air. Air dialirkan dari permukaan atas (*headrace*) masuk ke sudu gerak dari roda kincir melalui sejumlah saluran, yang dibuka dan ditutup melalui mekanisme *rack* dan *pinion*, dan dirancang agar tidak timbul kejutan pada aliran. *Bucket* bergerak ke arah bawah karena gaya berat air, dan memutar roda kincir.

Beberapa hal khusus dari rancangan kincir air jenis *breastshoot* adalah sebagian dari bawah roda kincir terendam atau berada di bawah permukaan air bawah (*tail race*) karena gerakan ke arah yang sama dari roda kincir dan aliran permukaan air bawah, maka sewaktu air mengalir lebih lanjut, juga akan membantu memutar roda kincir. Karena itu dapat dikatakan roda kincir digerakkan oleh kombinasi gaya berat air dan sebagian karena dorongan air (Paryatmo, 2007).

Adapun keuntungan dari tipe *Breastshoot* adalah sebagai berikut:

- a. Tipe ini lebih efisien dari tipe *undershoot*.
- b. Dibandingkan tipe *overshoot* tinggi jatuhnya lebih pendek.
- c. Dapat diaplikasikan pada sumber air aliran datar.

Adapun kerugian dari tipe *Breastshoot* adalah sebagai berikut:

- a. Sudu-sudu dari tipe ini tidak rata seperti tipe undershoot (lebih rumit).
- b. Diperlukan dam pada arus aliran datar.
- c. Efisiensi lebih kecil dari pada tipe *overshoot* (20%-75%)

**c. *Undershoot***

Tipe *undershoot* adalah tipe turbin air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian bawah turbin. Pada turbin air jenis *undershoot wheel*, air masuk dalam bentuk pancaran air menabrak sudu gerak yang berbentuk *vanes*, di posisi roda turbin sewaktu berada di bawah atau dasar seperti ditunjukkan Gambar 2.3. Roda kincir berputar hanya karena tumbukan air yang berbentuk pancaran air pada sudu gerak. *Head* potensial dari air mula-mula diubah mejadi *head* kecepatan, sebelum air menumbuk sudu gerak. Pada arah *undershoot* hanya menggunakan aliran air yang mengalir dibagian bawah kincir dan tidak memanfaatkan head/ketinggian (Jatmiko, 2010). Tipe ini cocok di pasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata karena aliran yang dibutuhkan adalah aliran datar. Tipe ini disebut juga dengan “*vitruvian*”. Disini aliran air berlawanan dengan arah sudu yang memutar turbin (Jatmiko dkk, 2010).

Adapun keuntungan dari tipe *undershoot* adalah sebagai berikut:

- a. Konstruksi lebih sederhana.
- b. Lebih ekonomis.
- c. Mudah untuk dipindahkan.

Adapun kerugian dari tipe *undershoot* adalah sebagai berikut:

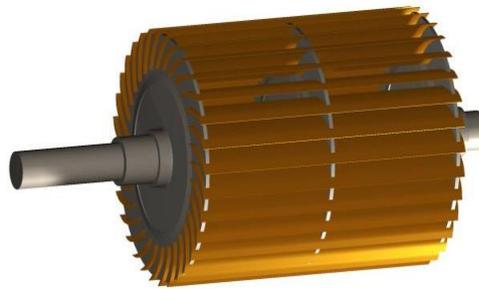
- a. Efisiensi kecil (25% - 70%).
- b. Daya yang dihasilkan relatif kecil.

## **2.4. Turbin *Crossflow***

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

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

Pemakaian jenis Turbin *Crossflow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikrohidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50% dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran Turbin *Crossflow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air.



**Gambar 2.1.** Turbin *Crossflow*

(Elbatran , 2015)

Prinsip kerja dari turbin *Crossflow* adalah air yang keluar dari nosel masuk ke *runner* menabrak sudu-sudu tahap pertama dan kemudian air tersebut keluar dari celah sudu-sudu tahap pertama lalu melewati ruang kosong dalam *runner* yang selanjutnya menabrak sudu-sudu tahap kedua dan akhirnya air itu keluar dari celah sudu-sudu tingkat kedua menuju kolam bawah (Mafruddin, 2016).

*Turbin Cross-Flow* dapat dikelompokkan sebagai teknologi tepat guna yang pengembangannya di masyarakat pedesaan memiliki prospek cerah karena pengaruh keunggulannya sesuai dengan kemampuan dan harapan masyarakat. Selanjutnya Prof. Haimerl (1960) menyatakan pula bahwa setiap unit dari turbin ini dapat dibuat sampai daya kurang lebih 750 KW. Tinggi air jatuh yang bisa digunakan diatas 1 m sampai 200 m dan kapasitas antara 0,02 m<sup>3</sup>/s sampai 7 m<sup>3</sup>/s (Dietzel, F., 1993). Cocok digunakan untuk PLTMH, penggerak instalasi pompa, mesin pertanian, workshop, bengkel dan lain sebagainya.

## 2.5. Nozzle

Nozzle adalah alat atau perangkat yang dirancang untuk mengontrol arah atau karakteristik dari aliran fluida (terutama untuk meningkatkan kecepatan) 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). 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 atau menggunakan prinsip Bernoulli dengan pengaruh ketinggian (Head). (Maria dkk, 2014).

## 2.6. Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal merupakan salah satu pompa hidrolik yang paling umum ditemui. Penggunaan pompa sentrifugal secara luas dikarenakan kemampuan untuk membangkitkan head yang tinggi, dan konstruksi yang beragam sesuai kebutuhan pemakaian. Pompa sentrifugal digunakan untuk mengalirkan fluida alir dengan kapasitas yang lebih kecil dan tekanan yang tinggi. Pada prinsipnya pompa sentrifugal maupun pompa aksial bekerja dengan memberikan energi kinetik kepada fluida alir ketika bergerak melewati sudu putar (*blade*) pada impeller. Untuk menganalisis perpindahan energi yang terjadi pada impeller digunakan persamaan Euler dan analisis segitiga kecepatan secara luas. Dalam bahasan dan latihan soal pada bab ini, fluida alir yang umum dipakai adalah air, dengan mengasumsikan fluida bersifat tidak mampu mampat (*incompressible*), terkecuali jika dinyatakan secara khusus.

Pada saat impeller berputar, fluida dihisap melalui mata (*eye*) pada selubung dan mengalir keluar secara radial. Energi ditambahkan kepada fluida oleh sudu yang berputar, dan baik tekanan maupun kecepatan absolut akan naik pada saat fluida mengalir dari mata ke keliling luar sudu. Untuk jenis pompa sentrifugal paling sederhana, fluida disalurkan secara langsung ke dalam selubung yang berbentuk keong. Bentuk selubung dirancang untuk menurunkan kecepatan pada saat fluida meninggalkan impeller, dan penurunan energi kinetiknya di rubah menjadi kenaikan tekanan. Bentuk rumah keong (*volute*), semakin meningkat luasnya searah dengan alirannya, pada dasarnya digunakan untuk menghasilkan distribusi kecepatan yang seragam pada saat fluida bergerak di sepanjang selubung

ke arah sisi keluarnya. Untuk pompa sentrifugal yang besar, seringkali digunakan rancangan yang berbeda dimana dipasang (*diffuser*) memandu sudu arah (*vanes*) di sekeliling impeller. Difuser dipasang untuk memperlambat aliran saat fluida diarahkan ke rumah pompa. Jenis pompa sentrifugal ini dikenal dengan sebagai *pompa difuser* (Harinaldi dan Budiarmo, 2015). Bagian-bagian dari pompa sentrifugal, sebagai berikut:

a. 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.

b. 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

c. 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.

d. 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.

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

f. Peti Gasket

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

g. Perapat Poros (Perapat Mekanis)

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

## 2.7. Generator

Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator adalah rotor generator yang digerakan oleh turbin sehingga menimbulkan tenaga listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bisa berupa listrik AC (listrik bolak-balik) maupun DC (listrik searah). (Wahab, 2009). Hal tersebut tergantung dari konstruksi generator yang dipakai oleh pembangkit tenaga listrik. Semakin besar putaran generator maka semakin besar energi listrik yang didapat dan semakin besar energi kinetis yang diperlukan untuk memutarinya (Jasa, dkk, 2010).

A. Generator Arus Searah menghasilkan arus listrik DC karena pada konstruksi dilengkapi dengan komutator, biasanya berfungsi sebagai penguat pada generator utama di bengkel atau industri.

B. Generator Arus Bolak-Balik menghasilkan arus listrik AC, hal ini disebabkan karena konstruksi pada generator menyebabkan arah arus akan berbalik pada setiap setengah putaran.

## 2.8 Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan merupakan suatu rangkaian pipa yang saling terhubung satu sama lain secara hidrolis. Sehingga perubahan di satu bagian pipa akan menyebabkan pengaruh pada bagian-bagian lain pada jaringan. Pengaruh ini dapat dideteksi dari segi perubahan tekanan dalam pipa. Sistem perpipaan terdiri dari pipa, katup (*valves*), alat penyambung (*fittings*) yang berfungsi untuk mengalirkan zat cair dari satu tempat ke tempat yang lain. Aliran terjadi karena adanya perbedaan tinggi tekanan di kedua tempat yang disebabkan oleh adanya perbedaan elevasi muka air atau karena digunakannya pompa.

Pipa merupakan saluran tertutup berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh. Fluida yang dialirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas. Secara umum karakteristiknya ditentukan berdasarkan material (bahan) penyusunnya. Ukuran diameter pipa didasarkan pada diameter "Nominal" antara diameter luar (OD) atau diameter dalam (ID).

*Valve* merupakan sistem perpipaan yang berfungsi menutup, mengalirkan, mengisi, atau mengalihkan suatu fluida yang mengalir di dalam pipa. Adapun cara pengoperasian *valve* dapat dilakukan secara manual, otomatis, atau kombinasi dari keduanya. Untuk pemilihan material *valve* pada sistem perpipaan telah diatur dalam ASME 16.34.

*Fittings* merupakan komponen-komponen pipa yang berkaitan dengan penyambungan, baik pipa dengan pipa, dan pipa dengan peralatan seperti *elbow* dan *tee*. *Elbow* adalah jenis *fitting* yang dipasangkan pada pipa pada saat pipa akan berubah arah perjalanannya. Sedangkan *tee* adalah sebuah komponen yang mempunyai tujuan untuk membagi aliran fluida dalam pipa menjadi dua arah atau sebaliknya menggabungkan dua aliran fluida menjadi satu didalam pipa selanjutnya.

## 2.9. Debit Aliran Fluida

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 ( $\text{m}^3/\text{dt}$ ). 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 beragam pula kecepatan aliran air pada saluran tersebut (*Luther dan Erwin, 2012*).

### 2.10. Perencanaan *Runner Turbin Crossflow*

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

1. Menghitung Luas Pipa (A)

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \quad (\text{Septiani dkk, 2018})$$

Keterangan :

$$\pi = 3,14$$

D = Diameter Pipa (m)

2. Menghitung kecepatan aliran air (v)

Untuk menghitung kecepatan aliran air (v) dapat menggunakan persamaan berikut:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (\text{Septiani dkk, 2018})$$

Keterangan:

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

h = Tinggi (m)

3. Menghitung debit aliran (Q)

Untuk menghitung debit aliran (Q) dapat menggunakan persamaan berikut:

$$Q = A \times V$$

$$Q = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times v \quad (\text{Hartadi, 2015})$$

Keterangan:

$$\pi = 3,14$$

D = Diameter Pipa (m)

V = Kecepatan Aliran (m/s)

#### 4. Kecepatan keliling aliran air (v)

$$v = 0,48 \times v \quad (\text{Mafrudin dkk, 2014})$$

Keterangan :

v = Kecepatan Aliran (m/s)

#### 5. Jumlah sudu (N)

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

Keterangan:

$$\pi = 3,14$$

D1 = Diameter luar turbin

K = Jarak antar sudu

#### 6. Jumlah putaran turbin (n)

Untuk menghitung jumlah putaran turbin dapat menggunakan persamaan berikut :

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

Keterangan :

n = Jumlah putaran turbin (rpm)

H = ketinggian jatuhnya air (m)

D<sub>1</sub> = Diameter luar turbin

#### 7. Menghitung Ukuran Turbin

##### a. Menghitung Diameter Luar

$$D1 = \frac{v \times 60}{\pi \times n} \quad (\text{Pratilastiarso \& Hamka, 2016})$$

Keterangan :

$v = \text{Kecepatan Aliran (m/s)}$

$n = \text{Jumlah putaran turbin (rpm)}$

$\pi = 3,14$

b. Diameter dalam turbin

$$D2 = \frac{2}{3} \times D1 \quad (\text{Pratilastiarso \& Hamka, 2016})$$

Keterangan :

$D1 = \text{Diameter luar (m)}$

c. Jarak antar sudu (K)

$$K = 0,174 \times D1 \quad (\text{Pratilastiarso \& Hamka, 2016})$$

Keterangan:

$D1 = \text{Diameter luar (m)}$

d. Lebar sudu turbin (L)

$$L = \frac{2,63 \times Q}{\sqrt{H} \times D1} \quad (\text{Pratilastiarso \& Hamka, 2016})$$

Keterangan:

$Q = \text{Debit Aliran}$

$D1 = \text{Diameter luar (m)}$

$H = \text{Head Pompa}$

8. Daya yang Dihasilkan (P)

$$P = \rho \times g \times Q \times \eta \quad (\text{Kumar, 2008})$$

Keterangan:

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

$G = \text{percepatan gravitasi (m/s}^2\text{)}$

$Q = \text{Debit Aliran m}^3\text{/s}$

$\eta = \text{Efisiensi sistem PLTMH (0,85)}$