

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), biasa disebut mikrohidro. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang artinya kecil sedangkan hidro yang artinya air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. PLTMH adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai media penggerakannya, misalnya saluran irigasi, sungai atau air terjun alam, dengan cara memanfaatkan tinggi terjunnya (*head*, dalam meter) dan jumlah debit airnya (m^3/detik). (Muchlisin Riadi,2016)

Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Klasifikasi umum pembangkit listrik tenaga air dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini:

Tabel 2.1 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 :Arun Kumar, 2016

Dari tabel 2.1 di atas 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.

Di samping faktor geografis atau tata letak sungai, tinggi jatuhan air dapat pula diperoleh dengan cara membendung aliran air. Air dari *intake* dialirkan ke turbin menggunakan saluran pembawa melalui sebuah pipa pesat (*penstock*) kedalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun di tepian sungai untuk menggerakkan turbin

atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator (Muchlisin Riadi, 2016)

2.2 Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi potensial, energi kinetik, energi tekanan), kincir air/turbin air dan generator. Air dari sungai, atau berbagai sumber air lain yang lain ditampung pada sebuah kolam tendon atau waduk, kemudian dialirkan dengan kapasitas tertentu disalurkan dengan ketinggian tertentu menuju rumah instalasi (rumah turbin). Di rumah turbin, air tersebut akan menumbuk sudu kemudian 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.

Walaupun biaya awal sebuah pembangkit listrik tenaga air pada umumnya cukup tinggi jika dibandingkan dengan pembangkit termal, namun banyak keuntungan yang didapatkan dari pembangkit tersebut, antara lain: efisiensi tinggi, pengoperasiannya fleksibel, mudah perawatannya, tingkat kerusakan dan retak tergolong rendah, berpotensi dapat memberikan energi secara berkelanjutan, dan tidak mengotori atmosfer (Harialdi, budiarso, 2015).

Potensi daya mikrohidro dapat dihitung dengan persamaan 1 dibawah ini:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta \dots \dots \dots (Arun Kumar, 2008)$$

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

2.3 Turbin Air

Turbin air adalah suatu mesin penggerak yang bisa mengubah energi air (energi potensial, energi tekanan, energi kinetik) menjadi energi mekanik. Turbin air biasanya digunakan pada pembangkit listrik tenaga air yang memanfaatkan energi air. Energi air yang menabrak sudu turbin akan diubah menjadi energi mekanik yang terhubung dengan generator, keluaran dari generator berupa daya yang pada umumnya dinyatakan dalam satuan kW (kiloWatt).

Turbin air dapat dibedakan menjadi beberapa jenis antara lain, turbin impuls dan turbin reaksi. Perbedaan yang mendasar antara kedua jenis turbin tersebut adalah turbin impuls bekerja dengan merubah seluruh energi potensial menjadi energi kinetik pada tekanan atmosfer. Jenis turbin impuls adalah turbin Pelton, turbin Turgo, dan turbin Banki/*Crossflow*. Sedangkan turbin reaksi bekerja dengan mengubah energi berupa tekanan statik tinggi ke tekanan statik rendah dengan melewatkannya melalui sudu-sudu turbin, atau sama dengan besarnya energi yang diserap sudu adalah perbedaan tekanan masuk dan keluar turbin. Jenis turbin reaksi yang sering digunakan yaitu turbin Francis, turbin Kaplan atau turbin Propeller (Harinaldi, Budiarmo, 2015).

Pemilihan jenis turbin air yang digunakan dapat berdasarkan *head* dan debit minimum yang dibutuhkan. Berikut klasifikasi tipe turbin berdasarkan *head* dan debit seperti pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Karakteristik Turbin Air

Turbin Hidrolik		H (m)	Q (m ³ /s)	N _s (rpm)
Reaksi	<i>Bulb</i>	2 – 10	3 – 40	200 – 450
	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
<i>Impulse</i>	Pelton	60 – 1000	0,2 – 5	<30
	Turgo	30 – 200		
	<i>Cross-Flow</i>	2 – 50	0,01 – 0,12	

Sumber : Septiani dkk, 2018

2.3.1 Turbin *Crossflow*

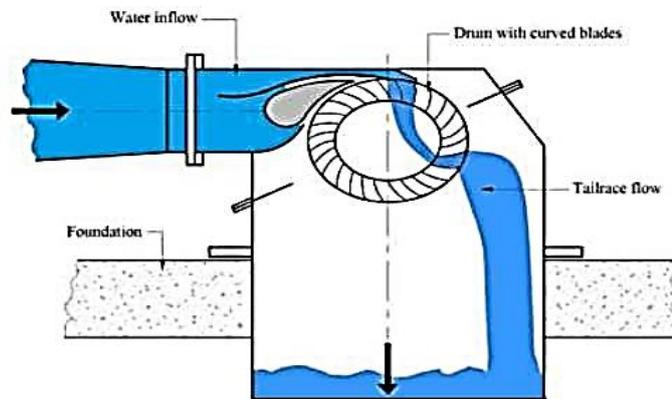
Turbin *Cross-Flow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*). Prinsip kerja turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell (1903). Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin *Banki* kadang disebut juga Turbin *Michell-Osberger* atau Turbin *Banki-Michell* (Isnugroho 2012).

Pemakaian jenis *Turbin Crossflow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikrohidro lainnya. Salah satu contohnya adalah daya guna atau efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi daripada daya guna kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pihak pabrik turbin Ossberger menyimpulkan bahwa daya guna kincir air jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70% sedangkan efisiensi turbin *crossflow* mencapai 82%. Tingginya efisiensi turbin *crossflow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu ketika air akan meninggalkan runner. Kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitas yang tinggi dan kesederhanaan pada sistem keluaran air dari *runner* (Zulkifli 2019).

Dari kesederhanaannya jika dibandingkan dengan jenis turbin lain, maka Turbin *Crossflow* yang paling sederhana. Sudu-sudu Turbin Pelton misalnya, bentuknya sangat pelik sehingga pembuatannya harus dituang. Demikian juga *runner* Turbin *Francis*, *Kaplan* dan *Propeller* pembuatannya harus melalui proses pengecoran/tuang. Tetapi *runner* Turbin *Crossflow* dapat dibuat dari material baja sedang (*mild steel*) seperti ST.37, dibentuk dingin kemudian dirakit dengan konstruksi las. Demikian juga komponen-komponen lainnya dari turbin ini semuanya dapat dibuat di bengkel umum dengan peralatan pokok mesin las listrik, mesin bor, mesin gerinda meja, bubut dan peralatan kerja bangku (Mirza dkk, 2017).

Prinsip kerja dari turbin *Crossflow* adalah air yang keluar dari nozel masuk ke *runner* menumbuk sudu-sudu tahap pertama dan kemudian air tersebut keluar dari celah sudu-sudu tahap pertama lalu melewati ruang kosong dalam runner kemudian air masuk ke sudu-sudu tingkat kedua yang akan jatuh menuju kolam bawah. Prinsip kerja turbin dapat dilihat pada Gambar 2.1

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Turbin *Crossflow*



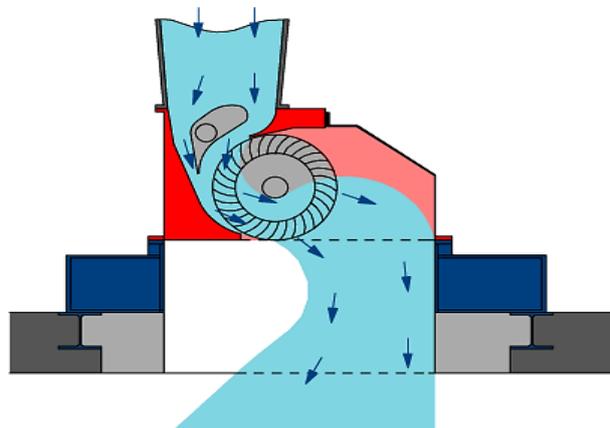
Sumber : Mafruddin, 2016

2.3.2 Jenis Turbin *Crossflow*

Menurut arah aliran airnya turbin ini dapat dibedakan atas dua jenis yaitu :

1. Turbin *Crossflow* jenis vertikal

Jenis arah aliran ini menggunakan air yang dialirkan melalui pipa pesat dengan posisi vertikal terhadap rumah turbin dan mendorong karangan sudu hingga roda jalan turbin berputar dan ini berlangsung secara kontinu.

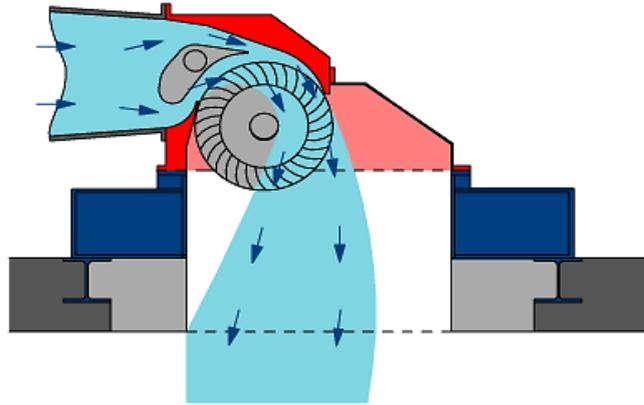


Gambar 2.2 Turbin *Crossflow* jenis vertikal

Sumber : Nirda dkk, 2017

2. Turbin *Crossflow* jenis horizontal

Turbin *crossflow* jenis horizontal ini menggunakan prinsip berupa aliran air dialirkan melalui pipa pesat dalam posisi horizontal terhadap rumah turbin dan menyembur/mendorong karang sudu hingga roda jalan turbin berputar.



Gambar 2.3 Turbin *Crossflow* jenis horizontal

Sumber : Nirda dkk, 2017

2.3.3 Sudu – Sudu Turbin

Pada bagian permukaan roda turbin yang berputar terdapat sudu-sudu turbin yang bergerak bersama-sama dengan roda turbin, maka sudu-sudu tersebut dinamakan sudu gerak atau sudu jalan. Pada sebuah roda turbin mungkin terdapat beberapa sudu gerak, setiap baris sudu terdiri dari sudu-sudu dengan bentuk dan ukuran yang sama yang disusun melingkar mengikuti roda turbin. Turbin dengan satu baris sudu gerak dinamakan turbin bertingkat tunggal dan turbin dengan beberapa baris sudu gerak dinamakan turbin bertingkat ganda.

Pada turbin bertingkat ganda, fluida bekerja mengalir melalui baris sudu yang pertama, kemudian baris kedua, ketiga dan seterusnya. Fluida kerja pada turbin bertingkat ganda sebelum mengalir dari satu sudu gerak ke sudu gerak yang lainnya akan melalui baris sudu-sudu yang bersatu dengan rumah turbin. Sudu yang bersatu dengan rumah turbin dan tidak bergerak/berputar dinamakan sudu tetap. Sudu tetap berfungsi mengarahkan aliran fluida kerja masuk ke dalam sudu gerak dan dapat juga berfungsi sebagai nosel. Di dalam turbin bertingkat ganda, proses ekspansi dari fluida kerja dilakukan secara bertahap. Jadi, dari satu tingkat ke tingkat berikutnya, dimana satu tingkat terdiri dari satu baris sudu tetap dan satu baris sudu gerak. Tujuan penggunaan turbin bertingkat ganda adalah untuk menaikkan efisiensi. (Mirza dkk, 2017)

2.3.4 Pengaruh Jumlah Sudu

Rancangan konvensional turbin *crossflow* selalu didasarkan pada asumsi jumlah sudu tak berhingga. Hanya beberapa peneliti diketahui mengungkapkan pengaruh jumlah sudu berhingga. Jumlah sudu berhingga mempengaruhi pola aliran dalam rotor. Sudu harus tebal agar mampu menahan gaya – gaya fluida. Sebagai konsekuensinya, hal ini membuat ruang antar sudu menjadi berbeda dari ruang sudu yang terbentuk oleh jumlah sudu tak berhingga.

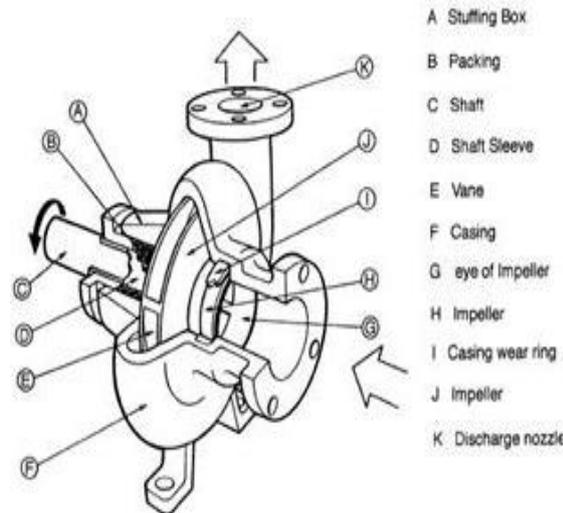
Rotasi ruang-ruang antar sudu ini membuat *vorteks* yang mempengaruhi cerai dari aliran relatif dari sudu-sudu turbin. Jumlah sudu berhingga juga cenderung menimbulkan cerai jet, dan jumlah-jumlah sudu yang kecil menaikkan kecenderungan ini.

Dalam pertimbangan penting dari desain runner turbin adalah jumlah sudu. Terlalu besar jumlah sudu runner akan meningkatkan kerugian dan biaya pembuatan turbin karena memerlukan material yang lebih banyak. Di sisi lain, sejumlah kecil jumlah sudu runner akan meningkatkan kerugian dengan pemisahan aliran pada sisi belakang jumlah sudu (mafruddin,2016).

2.4 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal merupakan salah satu pompa hidrolis 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.

Sebuah sketsa yang memperlihatkan ciri-ciri utama sebuah pompa sentrifugal ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Pompa Sentrifugal
(Sumber: Sularso, 2006)

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.
 - 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.

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 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 nozel 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 Generator

Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bisa berupa listrik AC (listrik bolak-balik) maupun DC (listrik searah). Hal tersebut tergantung dari konstruksi generator yang dipakai oleh pembangkit tenaga listrik. (Afriansyah dkk, 2017)

- 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 setengahputaran. (Afriansyah dkk, 2017)

2.7 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 ketempat yang lain. 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. (Mirza dkk, 2017)

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.

2.8 Perencanaan *Runner Turbin Crossflow*

Runner merupakan komponen utama pada turbin *crossflow* dan pelton, yang proses kerjanya adalah perputaran. 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)

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

Keterangan:

$$\pi = 3,14$$

D = Diameter Pipa (m)

2. Menghitung Kecepatan Aliran Air (V)

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

$$V = \sqrt{2 \times g \times h} \quad (\text{Sumber: Septiani dkk, 2018})$$

Keterangan:

g = Percepatan Gravitasi (m²/s)

h = Ketinggian (m)

3. Menghitung Debit Aliran (Q)

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

$$Q = A \times V$$

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

Keterangan:

$$\pi = 3,14$$

D = Diameter Pipa (m)

V = Kecepatan Aliran (m/s)

4. Kecepatan Keliling Aliran Air (v)

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

Keterangan:

V = Kecepatan Aliran (m/s)

5. Jarak Antar Sudu (K)

$$K = 0,174 \times D_1 \quad (\text{Sumber: Pratilastiarso & Hamka, 2016})$$

Keterangan:

D_1 = Diameter luar (m)

6. Jumlah Sudu (N)

$$N = \frac{\pi \times D_1}{K} \quad (\text{Sumber: Pratilastiarso & Hamka, 2016})$$

Keterangan:

π = 3,14

D_1 = Diameter luar turbin (m)

K = Jarak antar sudu

7. Jumlah Putaran Turbin (n)

Untuk menghitung jumlah putaran turbin dapat menggunakan persamaan berikut :

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

Keterangan :

n = Jumlah putaran turbin (rpm)

h = Ketinggian jatuhnya air (m)

D_1 = Diameter luar turbin (m)

8. Menghitung Ukuran Turbin

a. Menghitung Diameter Luar (D_1)

$$D_1 = \frac{v \times 60}{\pi \times n} \quad (\text{Sumber: Mafrudin dkk, 2014})$$

Keterangan:

V = Kecepatan Aliran (m/s)

n = Jumlah putaran turbin (rpm)

$$\pi = 3,14$$

b. Diameter Dalam Turbin (D2)

$$D2 = \frac{2}{3} \times D1 \quad (\text{Sumber: Mafrudin dkk, 2014})$$

Keterangan :

D1 = Diameter luar (m)

c. Lebar sudu turbin (L)

$$L = \frac{2,63 \times Q}{\sqrt{h} \times D1} \quad (\text{Sumber: Mafrudin dkk, 2014})$$

Keterangan:

Q = Debit Aliran

D1 = Diameter luar (m)

h = Ketinggian jatuhan air (m)

9. Daya yang Dihasilkan (P)

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

Keterangan:

P = Densitas air (kg/m³)

G = Percepatan gravitasi (m/s²)

Q = Debit Aliran m³/s

η = Efisiensi sistem PLTMH (0,85)