BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), biasa disebut mikro-hidro. 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 penggeraknya, misalnya saluran irigasi, sungai atau air terjun alam, dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan dan jumlah debit airnya (m^3/detik). *(Sumber: 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. di bawah 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: Teacher Manual Diploma Hydro Power)

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 di aliri listrik.

Beberapa keuntungan yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga listrik mikrohidro adalah sebagai berikut:

a. PLTMH lebih mudah dalam pengoperasian dan pemanfaatan sumber daya alam yang ramah lingkungan.

b. Merupakan sumber energi terbarukan.
c. Konstruksi bangunan PLTMH sangat sederhana dan dapat digunakan pada daerah terpencil dan memanfaatkan potensi yang ada pada daerah tersebut.
d. Dapat digunakan pada daerah irigasi atau tempat penampungan air (kolam). *(Sumber: Indriani, Hendra, M, & Herawati, 2013).*
e. Ketersediaan air tergantung kepada kondisi hutan disekitar daerah tersebut dimana kelestarian hutan akan menjamin ketersediaan air.

2.2 Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah air yang jatuh (debit) perdetik yang ada pada saluran air/air terjun. Energi ini selanjutnya menggerakkan turbin, kemudian turbin kita hubungkan dengan generator untuk 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). *(Sumber: Daniel, 2012)*

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 dengan persamaan 1 dibawah ini:

$P = \rho.g.Q.H.\eta$ *(Sumber: Arun Kumar, 2008)*

Dimana:

P = Daya yang dibangkitkan PLTMH (Watt)

P = Massa jenis air (kg/m^3)

g = gravitasi (9,81 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 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 (m^3/dt) atau liter per detik (l/d).

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 (*Sumber: Luther dan Erwin, 2015*).

Menurut teori yang dikemukakan oleh Richard Pietersz tahun 2013, bahwa semakin bertambahnya debit air, semakin besar putaran kincir maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Sebaliknya, semakin berkurangnya debit air, semakin kecil putaran kincir maka semakin kecil energi listrik yang dihasilkan.

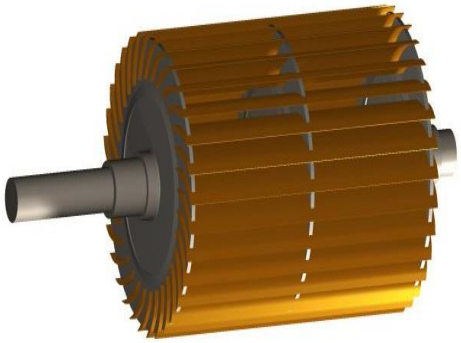
2.4 Turbin *Crossflow*

Turbin *Crossflow* 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 pengunaan kincir air maupun jenis turbin mikrohidro lainnya. Karena kesederhanaannya jika dibandingkan dengan jenis turbin lain, maka turbin *crossflow* yang paling sederhana. Sudu-sudu turbin pelton misalnya, bentuknya sangat pelik sehigga 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 *(Sumber: Mirza dkk, 2017)*. Dapat dilihat di bawah ini gambar 2.1. turbin *crossflow.*

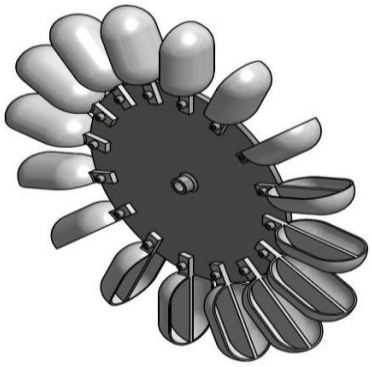


Gambar 2.1. Turbin *Crossflow*
(Sumber: Mafruddin, 2016)

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 (*Sumber: Mafruddin, 2016*).

2.5 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. Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah–tengah sudu dan pancara air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya–gaya samping. Turbin pelton untuk pembangkit skala besar membutuhkan heat lebih kurang 150 meter tetapi untuk skala mikro, head 20 meter sudah mencukupi. Turbin pelton memiliki komponen utama yaitu sudu turbin, nozel dan rumah turbin. (*Sumber: Aida Syarif dkk, 2019*).



Gambar 2.2. Turbin Pelton
(Sumber: Mafruddin, 2016)

Turbin pelton untuk pembangkit skala besar membutuhkan *head* lebih kurang 150 meter tetapi untuk skala mikro, head 20 meter sudah mencukupi. Turbin pelton juga dikenal sebagai turbin pancaran bebas, karena aliran yang keluar dari nozel, 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 nozel akan mengenai bagian tengah-tengah penampang sudu yang mempunyai penampang berbentuk cawan-belah elips. Bentuk penampang demikian dimaksudkan agar bisa membalikkan pancaran air dengan baik. Turbin pelton memiliki komponen utama yaitu sudu turbin, nozel dan rumah turbin. Prinsip kerja pada turbin pelton sama dengan prinsip kerja pada turbin *crossflow*. (*Sumber: Prapti dkk, 2015*).

2.6 Karakteristik Turbin Air

Setiap turbin air mempunyai karakteristik atau ciri khas. Karakteristik dari beberapa turbin air dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Karakteristik Turbin Air

Turbin Hidrolik		**H (m)**	**Q (m^3/s)**	**N_s (rpm)**
Reaksi	Bulb	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
Impulse	Pelton	60 – 1000	0,2 – 5	<30
	Turgo	30 – 200		
	Cross-Flow	2 – 50	0,01 – 0,12	<30

(Sumber: Helena Ramos, Guideline for Design of Small Hydropower Plants)

2.7 Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Aliran Arah Air Pendorong

Rancangan yang sistematik 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 Inggirs pada awal abad 19.

Turbin air dapat diklasifikasikan secara garis besar menjadi tiga group, 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.

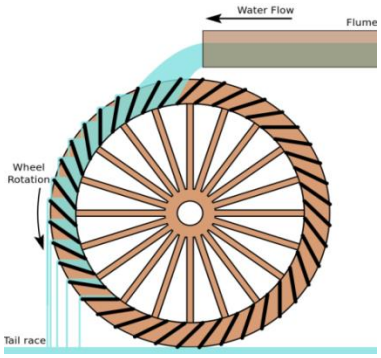
   Dengan memperhatikan bagaimana air tersebut dimanfaatkan, dari beberapa tipe turbin air yang pernah digunakan, dikenal ada tiga tipe, yaitu: *Overshoot*

wheel, *Breast wheel* dan *Undershoot wheel* (*Sumber: Wibowo Paryatmo, 2007*). Adapun pemakaian arah aliran yang dipakai pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTMH) adalah sebagai berikut:

2.7.1 *Overshoot wheel*

Pada turbin air jenis ini, air dimasukkan ke sudu gerak (*bucket*) melalui bagian atas roda turbin, seperti Gambar 2.3. 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 (*sluice gate*) yang dapat diatur bukaannya. Besar kecilnya bukaan pintu air ini untuk mengatur putaran turbin air sesuai dengan yang diinginkan, karena pembebanan turbin yang bervarisi pada waktu yang berbeda. Gaya berat air mendorong sudu gerak ke bawah, dan membuat turbin berputar.

Pada posisi sudu gerak mendekati bagian bawah, isi airnya berangsur menjadi kosong, karena bentuk geometri sudu gerak yang dirancang untuk ini. Rancangan turbin yang menghasilkan kinerja yang baik, antara lain adalah mengatur sudu gerak sehingga energi maksimum dari air dapat dimanfaatkan secara optimal.



Gambar 2.3. Turbin Air Jenis *Overshoot Wheel*
(Sumber: Schematic diagram of an overshoot water wheel, Daniel M. Short)

Kadang-kadang posisi turbin diatur agak ke bawah, agar pancaran air juga dapat dimanfaatkan. Pada kondisi ini, roda turbin digerakkan oleh sebagian karena gaya berat air, dan sebagian lain oleh dorongan air. Turbin air *overshoot* bekerja bila air yang mengalir jatuh ke dalam bagian sudu sisi bagian atas dan karena gaya berat air roda turbin berputar. Turbin air *overshoot* paling banyak

digunakan dibandingkan dengan jenis turbin air yang lain (*Sumber: Jatmiko dkk, 2010*).

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 didaerah 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

2.8 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). nozzle sering digunakan untuk mengontrol laju aliran, kecepatan, arah, massa, bentuk, dan 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 atau menggunakan prinsip Bernouli dengan pengaruh ketinggian (Head). *(Sumber: Maria dkk, 2014)*

2.9 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. Pompa menerima tenaga mekanis berupa putaran yang dihasilkan oleh motor penggerak sehingga dapat memindahkan fluida cair dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi.

Cara kerja pompa sentrifugal yaitu dengan mengubah energi mekanik dari poros yang menggerakkan sudu-sudu pompa, kemudian menjadi energi kinetik dan tekanan pada fluida. Berputarnya impeller menyebabkan tekanan vakum pada sisi isap pompa yang mengakibatkan fluida yang mengalir terhisap masuk ke dalam impeller. Di dalam impeller, fluida mendapatkan percepatan dan terkena gaya sentrifugak sehingga fluida mengalir dengan kecepatan tertentu *(Sumber: Mirza dkk, 2017).*

2.10 Generator

Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator adalah rotor generator digerakan oleh turbin sehingga menimbulkan tenaga listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bisa berupa listrik AC (listrik bolak-balik) maupun DC (listrik searah). Hal tersebut tegantung dari konstruksi generator yang dipakai oleh pembangkit tenaga listrik. *(Sumber: 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.

2.11 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. Aliran terjadi karena

adanya perbedaan tinggi tekanan dikedua 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 permipaan 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 sistem perpipaan yang membuat perubahan arah jalur pipa, perubahan diameter jalur pipa dan percabangan pipa. *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 berobah 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 di dalam pipa selanjutnya.

2.12 Perencanaan *Runner* Turbin *Crossflow* dan Pelton

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* dan pelton menggunakan persamaan-persamaan berikut:

1. Menghitung Luas Pipa (A)

$$A = {}^{1}/_{4} \times \pi \times D^{2}$$ *(Sumber: Septiani dkk, 2018)*

Keterangan:

π = 3,14

D = Diameter Pipa (m)

2. Menghitung Kecepatan Aliran Air (V)

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

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

Keterangan:

g = Percepatan Gravitasi (m^2/s)

h = Ketinggian (m)

3. Menghitung Debit Aliran (Q)

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

$Q = A \times V$

$Q = {}^{1}/_{4} \times \pi \times D^2 \times v$ *(Sumber: Budi Hartadi, 2015)*

Keterangan:

π = 3,14

D = Diameter Pipa (m)

V = Kecepatan Aliran (m/s)

4. Kecepatan Keliling Aliran Air (v)

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

Keterangan:

V= Kecepatan Aliran (m/s)

5. Jarak Antar Sudu (K)

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

Keterangan:

D1 = Diameter luar (m)

6. Jumlah Sudu (N)

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

Keterangan:

π = 3,14

D1 = Diameter luar turbin (m)

K = Jarak antar sudu

7. Jumlah Putaran Turbin (n)

Untuk menghitung jumlah putaran turbin dapat menggunakan persamaan berikut :

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

Keterangan :

n = Jumlah putaran turbin (rpm)

h = Ketinggian jatuhan air (m)

D_1 = Diameter luar turbin (m)

8. Menghitung Ukuran Turbin

a. Menghitung Diameter Luar (D1)

$$D1 = \frac{v \times 60}{\pi \times n}$$ *(Sumber: Mafrudin dkk, 2014)*

Keterangan:

V= Kecepatan Aliran (m/s)

n = Jumlah putaran turbin (rpm)

π = 3,14

b. Diameter Dalam Turbin (D2)

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

Keterangan :

D1 = Diameter luar (m)

c. Lebar sudu turbin (L)

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

Keterangan:

Q = Debit Aliran

D1 = Diameter luar (m)

h = Ketinggian jatuhan air (m)

9. Daya yang Dihasilkan (P)

$P = \rho \times g \times Q \times \eta$ *(Sumber: Arun Kumar, 2008)*

Keterangan:

P = Densitas air (kg/m^3)

G = Percepatan gravitasi (m/s^2)

Q = Debit Aliran m^3/s

η = Efisiensi sistem PLTMH (0,85)