

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Turbin**

Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk tenaga industri untuk jaringan listrik. Sekarang lebih umum dipakai untuk generator listrik. Turbin kini dimanfaatkan secara luas dan merupakan sumber energi yang dapat diperbaharukan. Kincir air sudah sejak lama digunakan untuk tenaga industri. Pada mulanya yang dipertimbangkan adalah ukuran kincirnya, yang membatasi debit dan head yang dapat dimanfaatkan. Perkembangan kincir air menjadi turbin modern membutuhkan jangka waktu yang cukup lama. Perkembangan yang dilakukan dalam waktu revolusi industri menggunakan metode dan prinsip ilmiah. Mereka juga mengembangkan teknologi material dan metode produksi baru pada saat itu.

Kata "*turbine*" ditemukan oleh seorang insinyur Perancis yang bernama Claude Bourdin pada awal abad 19, yang diambil dari terjemahan bahasa Latin dari kata "*whirling*" (putaran) atau "*vortex*" (pusaran air). Perbedaan dasar antara turbin air awal dengan kincir air adalah komponen putaran air yang memberikan energi pada poros yang berputar. Komponen tambahan ini memungkinkan turbin dapat memberikan daya yang lebih besar dengan komponen yang lebih kecil. Turbin dapat memanfaatkan air dengan putaran lebih cepat dan dapat memanfaatkan head yang lebih tinggi (Poernomo Sari, S., dan Fasha Ryan. 2012).

Turbin secara umum dapat diartikan sebagai mesin penggerak mula di mana energi fluida kerja yang digunakan langsung memutar roda turbin, fluida kerjanya

yaitu berupa air, uap air dan gas. Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air.

Turbin air adalah mesin yang mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik yang diterjemahkan menjadi energi listrik. Prinsip dasarnya sangat sederhana: air mengalir menggerakkan turbin, lalu turbin menggerakkan generator yang akan menghasilkan listrik.

## **2.2 Fungsi Turbin**

Turbin berfungsi untuk mengubah energi fluida menjadi mekanik. Energi fluida tersebut dapat berupa energi dari gas atau cairan yang mengalir melalui turbin. Turbin dapat digunakan untuk berbagai keperluan, seperti untuk menghasilkan listrik, menggerakkan mesin, atau untuk menggerakkan alat-alat industri.

## **2.3 Jenis-Jenis Turbin**

Turbin adalah suatu mesin rotary yang berfungsi untuk mengubah energi dari aliran fluida menjadi energi gerak yang bermanfaat. Mesin turbin yang paling sederhana terdiri dari sebuah bagian yang berputar di sebut rotor, yang terdiri atas sebuah poros/*shaft* dengan sudu-sudu atau *blade* yang terpasang di sekelilingnya. Rotor tersebut berputar akibat dari tumbukan aliran fluida atau berputar sebagai reaksi dari aliran fluida tersebut.

Oleh karena itulah turbin terbagi atas 2 jenis, yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Rotor pada turbin impuls berputar akibat tumbukan fluida bertekanan yang di arahkan oleh *nozzle* kepada rotor tersebut, sedangkan rotor turbin reaksi berputar akibat tekanan fluida itu sendiri yang keluar dari ujung sudu melalui *nozzle*.

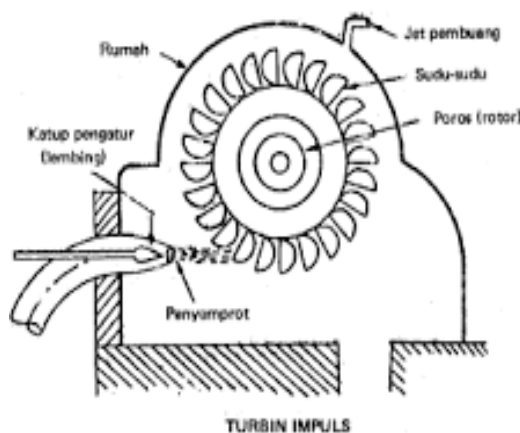
## 2.4 Klasifikasi Jenis-Jenis Turbin Air

Turbin air dapat di klasifikasi berdasarakan penurunan tekanan, yaitu sebagai berikut:

### 2.4.1 Turbin Impuls

Turbin implus merupakan jenis turbin tekanan sama. Tekanan yang sama tersebut yaitu tekanan pada aliran air yang keluar dari *nozzle* turbin dan tekanan atmosfer lingkungan sekitar turbin. Energi potensial yang terkandung didalam air dengan ketinggian tertentu dikonversi menjadi energi kinetik melalui suatu pipa pesat (*penstock*) dan air tersebut masuk turbin melalui salah satu bagian turbin yang disebut *nozzle*.

Penampang *nozzle* biasanya lebih kecil jika dibandingkan dengan pipa pesat sehingga kecepatan air yang keluar dari *nozzle* sangat tinggi. Kecepatan air yang tinggi tersebut membentur sudu turbin dan setelah membentur sudu arah kecepatan aliran dari air akan berubah sehingga terjadi perubahan momentum dari air maka roda turbin akan berputar. Contoh: turbin pelton, turbin turgo, turbin *Crossflow* dan turbin *screw*.



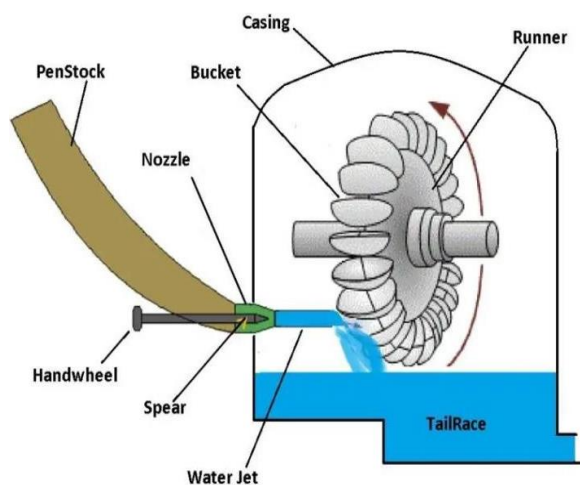
Gambar 2.1 Turbin Impuls  
Sumber : (Nuradi & Heru Munandar, 2022)

## 1. Turbin *Crossflow*

Turbin *Cross-flow* merupakan jenis turbin implus dengan dua komponen utama yaitu *runner* dan *nozzle*. Prinsip kerja turbin *Cross-flow* yaitu dengan memanfaatkan momentum air yang keluar dari *nozzle*

Turbin *Cross-flow* mempunyai bagian pengarah air atau yang disebut *nozzle* sehingga celah bebas dengan sudu disekeliling *runner* sedikit. *Nozzle* pada turbin *Cross-flow* biasa disebut juga dengan distributor (*Guide Vane*). Turbin *Cross-flow* sangat cocok jika diaplikasikan untuk pembangkit listrik tenaga air yang kecil hingga sedang dengan daya yang dihasilkan kurang lebih 750 kW.

Untuk tinggi jatuh air (*Head*) yang dapat digunakan untuk menggerakkan turbin *Cross-flow* pada kisaran diatas 1 m sampai dengan 200 m. Sedangkan untuk debit air yang digunakan untuk turbin *Cross-flow* yaitu antara 0,02 m<sup>3</sup>/dt sampai dengan 7 m<sup>3</sup>/dt. Turbin *Cross-flow* memiliki kecepatan putarannya pada kisaran 60 rpm sampai dengan 200 rpm. Kecepatan putaran yang dihasilkan turbin *Cross-flow* tergantung kepada diameter roda atau *runner* serta *head* dan debit air.

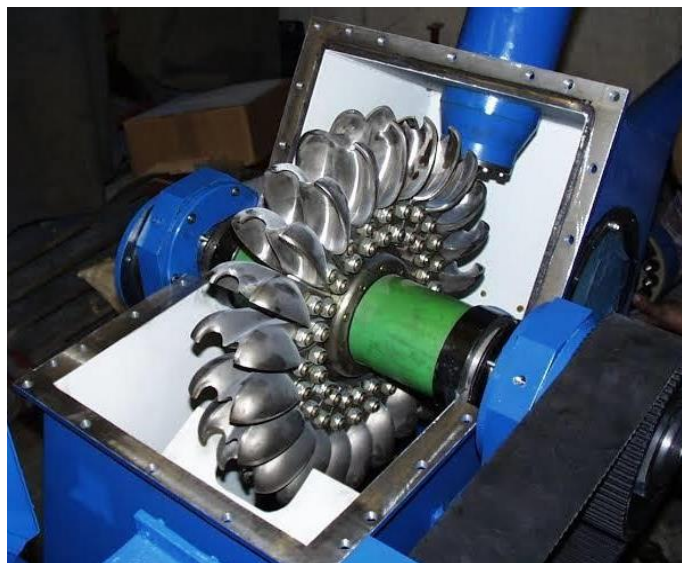


Gambar 2.2 Turbin *Crossflow*  
 Sumber : (Abimanyu dkk., 2023)

## 2. Turbin Pelton

Turbin pelton adalah turbin impuls yang prinsip kerjanya mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik dalam bentuk pancaran air. Pancaran air dari ujung *nozzle* di terima oleh sudu-sudu pada roda jalan sehingga roda jalan berputar. Turbin ini pertama kali di temukan oleh insiyur Amerika yang bernama Lester A. Pelton pada tahun 1880.

Prinsip kerja turbin pelton yaitu dengan mengkonveksi daya fluida dari air menjadi daya poros untuk di gunakan memutar generator listrik. Pada sudu-sudu turbin, energi aliran air diubah menjadi energi mekanik yaitu putaran roda turbin. Apabila roda turbin di hubungkan dengan poros generator listrik, maka energi mekanik putaran roda turbin diubah menjadi energi listrik pada generator. Komponen utama pada turbin pelton yaitu: pipa *nozzle*, sudu turbin, kotak penutup, *governor*, *ridge*, *deflector*, dan rumah turbin.

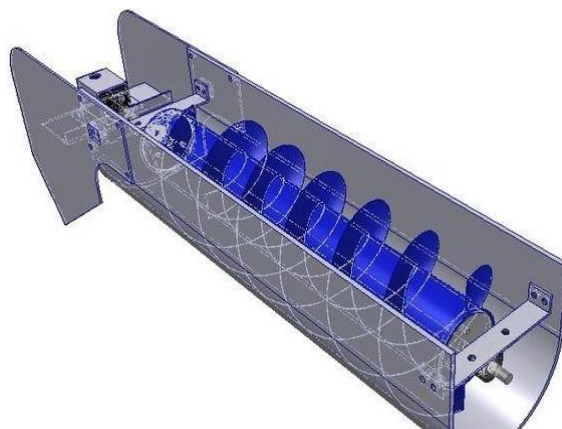


Gambar 2.3 Turbin Pelton  
Sumber : (Muhammad Nurhidayat, 2021)

### 3. Turbin Screw

Turbin *Screw* merupakan salah satu turbin yang sangat efisien untuk dioperasikan pada aliran air yang mempunyai head rendah dan debit tinggi. Turbin *screw* bekerja pada kisaran ketinggian (*head*) 1–15m. Proses perubahan energi pada turbin *screw* yaitu energi tekanan dan kinetik dalam air yang menumbuk sudu ulir (*blade*) akan menimbulkan gaya-gaya hidronamis pada sudu ulir tersebut. Gaya-gaya tersebut mengakibatkan perubahan tekanan pada sudu ulir (*blade*) turbin. Perubahan ini akan memutar *blade* dan poros turbin. Energi puntir yang terdapat pada poros selanjutnya ditransmisikan untuk memutar generator. Jadi pada prinsipnya, turbin ulir merupakan pembalikan dari fungsi turbin ulir itu sendiri.

Secara hitoris, turbin *screw* digunakan dalam irigasi untuk mengangkat air ke tingkat yang lebih tinggi. Ketika digunakan sebagai turbin air prinsipnya tetap sama. Turbin *screw* dapat bekerja pada *head* 1 meter, dan tidak umum digunakan pada *head* kurang dari 1,5 meter karena alasan ekonomi dan teknis. Turbin *screw* biasanya ditetapkan pada kemiringan  $22^{\circ}$  dari horizontal, yang merupakan optimum untuk instalasi yang hemat biaya (Nugroho, 2017).

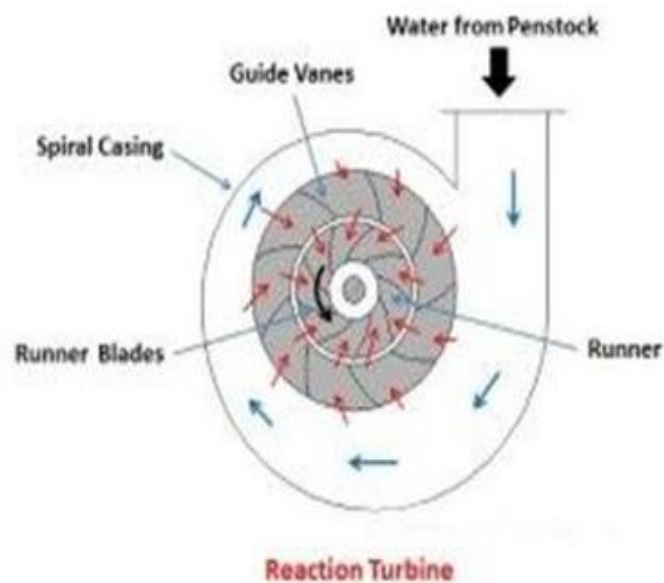


Gambar 2.4 Turbin *Screw*  
Sumber : (Ramadhan, 2022)

### 2.4.2 Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang memaksimalkan kekuatan dari tekanan dan besarnya sebuah aliran air (energi kinetik). Semakin besar tekanan dan besarnya sebuah aliran air maka semakin cepat pula putaran turbin. Selain itu, karena semua sudu-sudu mendapatkan tekanan dari aliran air, membuat turbin reaksi memiliki efisiensi yang bagus

Turbin yang berputar menghasilkan tenaga mekanik yang kemudian menggerakkan generator. Selanjutnya, generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Turbin reaksi bekerja dengan cara merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi suatu energi kinetik. Turbin ini merupakan turbin yang paling banyak diaplikasikan. Sudu-sudu yang ada pada turbin reaksi memiliki profil khusus sehingga terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan tersebut memberikan gaya pada sudu sehingga akhirnya *runner* dapat berputar



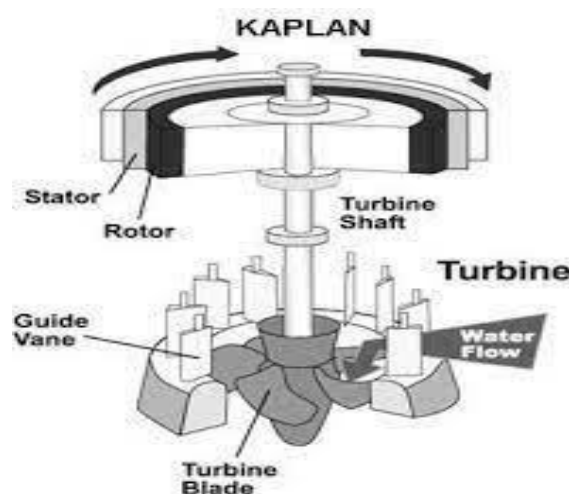
Gambar 2.5 Turbin Reaksi  
Sumber : (Nanang Adiwijaya, 2023)

### 2.4.3 Turbin Kaplan

Turbin kaplan adalah turbin dengan sudu-sudu berbentuk [baling-baling](#) yang dapat diatur untuk mendapat efisiensi maksimal sesuai dengan besar-kecilnya aliran dan level ketinggian air. Sejatinya, turbin kaplan merupakan pengembangan dari turbin francis, pengembangannya dilakukan pada tahun 1913 oleh ilmuwan asal Austria yang bernama Viktor Kaplan. Turbin kaplan juga termasuk ke dalam jenis turbin reaksi.

Keistimewaan lainnya, turbin kaplan dapat diaplikasikan pada *head* (tinggi jatuhnya air) yang rendah, yaitu bekisar 10–70 meter, tetapi dengan aliran air yang besar. Maka dari itu, turbin ini cocok digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air sungai.

Turbin Kaplan ini memiliki kecepatan spesifik tinggi, yang bekerja pada kondisi head rendah dengan debit yang besar. Adapun beberapa komponen utama dari turbin Kaplan, yaitu: sudu gerak (*runner blade*), sudu pengarah (*guide vane*), rumah turbin, pipa masukan (*penstock*) dan pipa buangan (*draft tube*).



Gambar 2.6 Turbin Kaplan  
Sumber: (Sihombing & Pattipawaej, 2024)

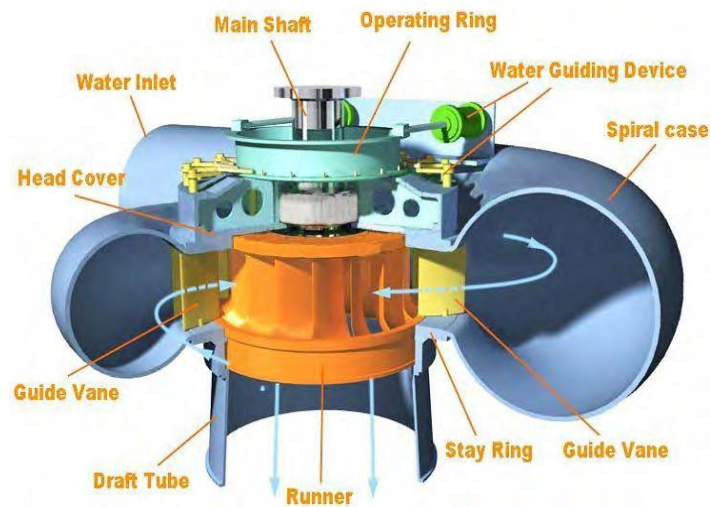


#### **2.4.4 Turbin Francis**

Turbin Francis merupakan turbin jenis reaksi yang bekerja karena tekanan pada roda turbin yang mengakibatkan roda turbin berputar dimana aliran air melalui rumah keong yang diarahkan dengan sudu pengarah menuju sudu jalan dari roda turbin. Daya yang dihasilkan oleh turbin dapat diatur dengan cara mengatur posisi sudu diam, sehingga aliran air yang menumbuk roda turbin dapat diatur.

Turbin Francis pertama kali di temukan sekitar tahun 1950 oleh orang Amerika yang bernama Howk dan Francis. Sekarang turbin francis adalah yang paling banyak digunakan karena tinggi air jatuh dan kapasitas yang paling sering sesuai dengan kebutuhannya. Dari hasil penggunaan dan penelitian terus menerus turbin francis sekarang dapat digunakan untuk tinggi air jatuh sampai 700 m dengan kapasitas air dan kecepatan roda putar yang sudah memenuhi harapan. Kesukaran akan timbul jika air mengandung pasir dan packingnya., bila sampai bagian tersebut aus maka harus dicari kemungkinan menggantinya tanpa turbin terlalu lama berhenti

Turbin Francis dapat dibuat dengan kecepatan putar yang sama tingginya, dimana kecepatan putar yang tinggi tersebut menghasilkan keuntungan terhadap berat, harga turbin air dan generatornya. Tidak ada kerugian tinggi air jatuh akibat adanya ruang bebas. Penentuan turbin Francis di dalam bangunan bawah tanah yang baik dan menguntungkan untuk turbin air ini adalah bila tinggi permukaan air bawah sangat berubah-ubah. Efisiensi untuk turbin Francis dengan beban penuh cukup baik, tetapi akan memburuk jika bebannya tidak penuh.



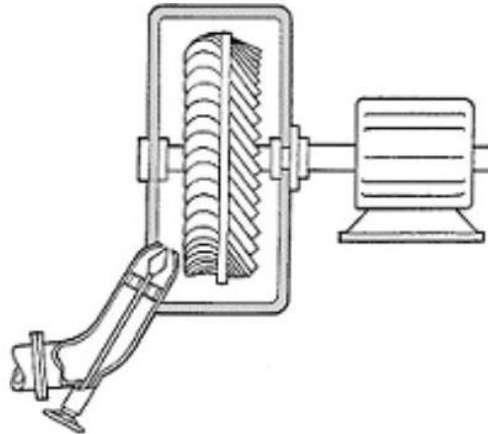
Gambar 2.7 Turbin Francis  
Sumber : (Bancin, 2020)

#### 2.4.5 Turbin Turgo

Turbin Turgo merupakan turbin impuls yang sering digunakan pada PLTMH dengan tinggi jatuh (*head*) yang tinggi karena bentuk kelengkungan sudu yang tajam. Turbin Turgo dikembangkan pada tahun 1919 oleh Gilkes sebagai modifikasi Turbin Pelton. Perbedaan utama turbin pelton dan turbin turgo yaitu bentuk sudunya, sudu turbin turgo berbentuk setengah dari bentuk sudu turbin pelton tetapi dengan jumlah dan ukuran sudu yang sama.

Turbin Turgo adalah jenis turbin air yang digunakan untuk menghasilkan listrik dari energi air. Turbin ini merupakan varian dari turbin air Pelton, tetapi dengan desain yang lebih sederhana. Turbin Turgo sering digunakan dalam skala kecil hingga menengah untuk pembangkit listrik mikro-hidro. Turbin Turgo dapat beroperasi head 30 s/d 300 m seperti turbin pelton turbin Turgo merupakan turbin impuls, tetapi sudunya berbeda. Pancarnya air dari *nozzle* membentur sudu pada

sudut  $20^\circ$ . Kecepatan putar Turgo lebih besar dari turbin pelton. Akibatnya dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan.



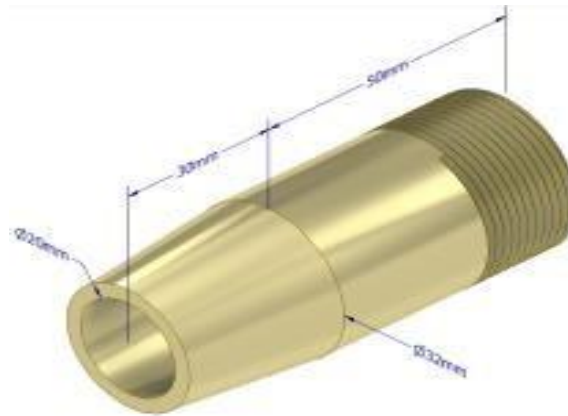
Gambar 2.8 Turbin Turgo  
Sumber: ([Astro dkk., 2020](#))

Perawatan yang baik sangat penting untuk menjaga efisiensi dan umur pakai turbin melalui tindakan pencegahan yang dilakukan secara berkala untuk mencegah kerusakan. Hal ini termasuk pemeriksaan rutin, pelumasan, dan penggantian komponen yang aus, serta tindakan perbaikan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan termasuk penggantian komponen yang rusak dan perbaikan sistem.

Pemeliharaan pada sudu, pengarah dan part lain yang bersentuhan dengan air termasuk pembersihan, pemeriksaan dan perbaikan part yang rusak. Elemen baja di perbaiki dengan pengelasan, umumnya dengan las *stainless steel*. Area yang berbahaya di potong atau di gerinda, kemudian di las sesuai dengan bentuk aslinya atau dengan profil yang di perkuat. Sudu turbin tua mungkin akan mempunyai banyak tambahan *stainless steel* hingga akhir penggunaannya. Prosedur pengelasan yang rumit mungkin digunakan untuk mendapatkan kualitas perbaikan terbaik. Kemudian dilas sesuai dengan bentuk aslinya atau dengan profil di perkuat.



tekanan air menjadi aliran jet berkecepatan tinggi yang langsung mengenai sudu turbin.



Gambar 2.10 Nozzle

Sumber: (Bayu Suka Yasa dkk., 2022)

### 2.6.1 Variasi Nozzle

Variasi *nozzle* pada turbin Turgo, baik dari segi jumlah, sudut, maupun bentuk, dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap kinerja turbin. Penelitian terus dilakukan untuk mengoptimalkan desain *nozzle* guna meningkatkan efisiensi turbin dan daya outputnya. Berikut ini beberapa variasi *nozzle* yaitu:

1. Variasi jumlah *nozzle* berpengaruh terhadap putaran turbin. Contohnya, penggunaan 2 *nozzle* menghasilkan putaran terbesar.
2. Mengubah sudut *nozzle* (misalnya dari  $65^\circ$  hingga  $75^\circ$ ) dapat memengaruhi kecepatan putar turbin dan daya output.
3. Bentuk *nozzle* juga dapat di variasi, misalnya dengan menggunakan bentuk lingkaran.
4. *Nozzle* mengatur laju aliran air yang mengalir ke turbin, dan penting untuk mempertahankan efisiensi tinggi dalam berbagai kondisi operasi

### 2.6.2 Fungsi *Nozzle*

Berikut ini beberapa fungsi dari *nozzle* dalam turbin turgo yaitu:

1. *Nozzle* mempercepat aliran air yang berasal dari pipa penstock sehingga tekanan air dikonversi menjadi kecepatan tinggi sebelum mengenai sudu turbin (*runner*).
2. *Nozzle* mengarahkan semburan air ke sudut optimal pada sudu turbin untuk menghasilkan torsi maksimum. Dapat disesuaikan untuk mengatur jumlah air yang masuk ke turbin sesuai dengan kebutuhan daya.
3. Peran dalam Mempercepat Aliran Air *Nozzle* dirancang untuk mempercepat aliran air dengan mengonversi tekanan potensial menjadi kecepatan kinetik. Variasi diameter *nozzle* dapat mempengaruhi kecepatan jet air yang dihasilkan. *Nozzle* dengan diameter yang lebih kecil akan menghasilkan kecepatan jet yang lebih tinggi, sementara *nozzle* dengan diameter yang lebih besar akan menghasilkan kecepatan jet yang lebih rendah.

### 2.7 Konsep Dasar Perhitungan

Rumus-rumus yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Luas penampang A (m<sup>2</sup>)

Luas penampang adalah luas permukaan yang tegak lurus arah aliran air pada turbin turgo. Luas penampang turbin turgo dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

$$A = \text{luas penampang (m}^2\text{)}$$

$D_s$  = Diameter sudu (m)

$h$  = Tinggi Sudu (m)

## 2. Debit air (Q)

Debit air pada turbin Turgo adalah volume air yang mengalir melalui turbin per satuan waktu. Debit ini sangat penting untuk kinerja turbin turgo, karena mempengaruhi jumlah energi yang dapat di hasilkan. Debit air pada turbin turgo dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q = A \times v \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

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

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

$v$  = Kecepatan aliran (m/s)

## 3. *Head* efektif ( $h_e$ )

*Head* efektif pada turbin turgo adalah head bersih atau head yang tersedia di saluran masuk turbin, yang merupakan head bersih yang digunakan untuk menentukan output turbin. *Head* efektif ini penting untuk menentukan daya yang dapat dihasilkan oleh turbin. *Head* efektif pada turbin turgo dapat dihitung menggunakan rumus :

$$H_e = H_D + H_s \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana

$H_e$  = *Head* efektif air (m)

$H_D = \frac{v^2}{2g}$  *Head* dinamis air (m)

$H_s$  = *Head* statis air (m)

$v$  = kecepatan aliran (m/s)

$g$  = Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

#### 4. Daya air (Pa)

Daya air turbin turgo merujuk pada daya yang dihasilkan dari energi air ketika mengalir melalui turbin. Daya air pada turbin turgo dapat dihitung menggunakan rumus :

$$P_{air} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

$P_{air}$  = Daya air (W)

$\rho$  = Massa jenis air ( $kg/m^3$ )

$H$  = Head efektif (m)

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

#### 5. Gaya pembebanan (F)

Gaya pembebanan merupakan gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan atau memutar turbin turgo saat menerima beban tertentu. Gaya pembebanan dapat dihitung menggunakan rumus :

$$F = m \cdot g \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

$F$  = Gaya pembebanan (N)

$m$  = Massa/beban (kg)

$g$  = Percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ )



## 6. Torsi ( $\tau$ )

Torsi adalah gaya putar yang menyebabkan rotasi pada turbin turgo. Dalam konteks turbin, torsi adalah ukuran gaya yang dihasilkan oleh aliran air pada sudu-sudu turbin, yang menyebabkan turbin berputar. Torsi merupakan hasil kali dari gaya dengan jari-jari, maka diperoleh persamaan rumus:

$$\tau = F \times r \text{ (Nm)} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

$$\tau = \text{Torsi (Nm)}$$

$$F = \text{Gaya (N)}$$

$$r = \text{Jari-jari pully (m)}$$

## 7. Kecepatan sudut ( $\omega$ )

Kecepatan sudut adalah gerak beraturan turbin saat melakukan perpindahan secara melingkar. Rumus persamaan yang digunakan yaitu:

$$\omega = \frac{2\pi.n}{60} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

$$\omega = \text{Kecepatan sudut}$$

$$n = \text{Putaran turbin (rpm)}$$

$$\pi = 3,14$$

## 8. Daya turbin ( $P_t$ )

Daya turbin adalah ukuran daya yang dihasilkan oleh turbin turgo dalam menunjukkan seberapa banyak energi yang dapat dihasilkan oleh turbin dalam satu unit waktu. Daya turbin turgo dapat dihitung menggunakan rumus :

$$P_t = \tau \times \omega \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

$P_t$  = Daya turbin (Watt)

$\tau$  = Torsi (Nm)

$\omega$  = Kecepatan sudut (rpm)

#### 9. TSR (*Tip Speed Ratio*)

*TSR (Tip Speed Ratio)* Adalah rasio antara kecepatan rotasi pada ujung sudu dan kecepatan *actual* dari aliran air *Top Speed Ratio* didefinisikan sebagai berikut:

$$TSR = \frac{\omega \cdot r}{v} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

$\omega$  = kecepatan sudut

$v$  = kecepatan aliran air (m/s)

$r$  = jari-jari (m)

#### 10. Efisiensi turbin $\eta$ (%)

Efisiensi pada turbin turgo adalah persentase yang menunjukkan seberapa banyak energi kinetik dari air yang dapat diubah menjadi energi mekanik oleh turbin. Rumus efisiensi turbin yaitu:

$$\eta = \frac{P_t}{P_{air}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi turbin (%)

$P_t$  = Daya turbin (Watt)

$P_a$  = Daya air (Watt)

## 2.8 Jurnal Rujukan

Reksa Adelin, 2022 Penggunaan energi Indonesia masih di dominasi oleh penggunaan energi tak terbarukan yang berasal dari fosil. Khususnya minyak bumi dan batu bara namun seiring berjalannya waktu, ketersediaan energi fosil semakin menipis dan untuk mengantisipasinya energi baru terbarukan (EBT) merupakan alternatif terbaik Turbin turgo adalah salah satu turbin impulse yang sesuai untuk menggantikan turbin pelton *nozzle* ganda dengan head rendah maupun turbin Francis dengan head tinggi turbin turgo dapat bekerja pada head menengah antara 15 m sampai dengan 300 m. Turbin turgo terdiri dari rumah turbin dan runner turbin atau roda jalan. Rumah turbin dilengkapi dengan *nozzle* berpenampang lingkaran, *nozzle* berfungsi untuk menghasilkan jet aliran dengan cara mengubah head tekanan menjadi kecepatan. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jumlah *nozzle* sangat berpengaruh terhadap putaran turbin air turgo, putaran terbesar didapatkan pada jumlah *nozzle* 2 buah dengan nilai putaran yang dihasilkan sebesar 443,6 Rpm. Dari hasil penelitian diketahui bahwa variasi jumlah *nozzle* sangat berpengaruh terhadap nilai torsi dari turbin air turgo, dimana torsi terbesar didapatkan pada jumlah nosel 2 buah dengan nilai torsi sebesar 0,053 Nm.

Mafruddi Dkk, 2019 Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu dan diameter *nozzle* terhadap kinerja turbin pelton. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan melakukan desain dan pembuatan serta pengujian prototipe turbin pelton. Turbin yang dibuat dan diuji memiliki spesifikasi diameter *runner* 150 mm, panjang sudu 31,1 mm, lebar sudu 14,6 mm, kedalaman sudu 6,45 mm, dan jumlah *nozzle* 1 buah. Dari hasil penelitian diketahui bahwa

jumlah sudu dan diameter *nozzle* berpengaruh terhadap daya turbin. Daya turbin tertinggi diperoleh dengan menggunakan jumlah sudu 21 dan diameter *nozzle* 8 mm sebesar 2,15 Watt. Sedangkan dengan jumlah sudu 19 dan diameter *nozzle* 8 mm daya turbin 1,91 Watt, daya turbin dengan jumlah sudu 23 dan diameter *nozzle* 8 mm yaitu 1,95 Watt. Daya turbin dengan jumlah sudu 19 dan diameter *nozzle* 10 mm yaitu 1,4 Watt, daya turbin dengan jumlah sudu 23 dan diameter *nozzle* 10 mm yaitu 1,49 Watt dan daya turbin dengan jumlah sudu 23 dan diameter *nozzle* 10 mm yaitu 1,41 Watt.

Bono, Drs, S.T., M.Eng, Suwarti, S.T., M.T., 2019 Penelitian ini bertujuan untuk meneliti Turbin Turgo pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dengan variasi jumlah sudu berbentuk mangkuk berjumlah 20 buah, 19 buah, 18 buah, dan 17 buah, serta memodifikasi bentuk *nozzle* keluaran air dengan bentuk lingkaran dan persegi. Bentuk *nozzle* lingkaran dan persegi mempunyai luas penampang yang sama yaitu  $78,5 \text{ mm}^2$ , dengan diameter pada bentuk lingkaran yaitu 10 mm dan pada bentuk persegi dengan panjang sisi 10,84 mm dan 7,25 mm. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Konversi Energi, dengan parameter yang diukur yaitu debit aliran air, tekanan air pada *nozzle*, putaran poros generator, torsi, tegangan dan arus listrik output dari generator, serta suhu air. Data dari pengujian dibuat grafik karakteristik dengan bentuk hiperbolik. Hasil terbaik didapatkan pada bentuk *nozzle* lingkaran daripada bentuk persegi. Daya Mekanik maksimum didapat pada jumlah sudu 18 nosel lingkaran sebesar 261,722 W.