

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Pada penelian sebelumnya oleh Rizki (Universitas Islam Indonesia) Oktober 2015, telah membahas perancangan pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan tinggi jatuh air kurang dari 3 meter.dengan hasilnya Penelitian ini berhasil merancang sebuah turbin generator dengan spesifikasi *head* 3 m dan debit 1 m<sup>3</sup>/s, dengan daya sebesar 25,116 kW dan efisiensi turbin sebesar 85,43%.

Pada penelitian sebelumnya Awal Ramadhan (Sekolah Tinggi Teknik PLN) 4 maret 2016, membahas perancangan PLTMH kapasitas 30 kW di Desa Giritirta, Kecamatan Pejawaran, Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah dengan kesimpulan dengan memanfaatkan Sungai Mrawu, anak sungai dari Sungai Serayu.

Pada penelitian sebelumnya oleh Jumadi dan Amir (Prodi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Malikussaleh) februari 2017, membahas Perencanaan Dan Perancangan Pembangkit Listriktenaga Mikro–Hidro Jenis *Crossflow* menyimpulkan bahwa perencanaan dan perancangan PLTMH jenis *crossflow* daya output turbin sebesar 48,02 kW, dengan memperhatikan akses daya maka dapat membangkitkan generator sebesar 40 kW.

Penelitian sebelumnya oleh Maghfur oleh perusahaan (PT.Dinamika Elektrik Mandiri) November 2014, berjudul Studi Kelayakan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Desa Setren Kecamatan Slogoimo kabupaten Wonogiri menyimpulkan bahwa PLTMh mengingat masih ada beberapa warga yang belum

bisa menikmati *energy* listrik dari PLN Potensi air sungai di Desa Setren Kecamatan slogoimo mampu menghasilkan 1 x 21,6 kW.

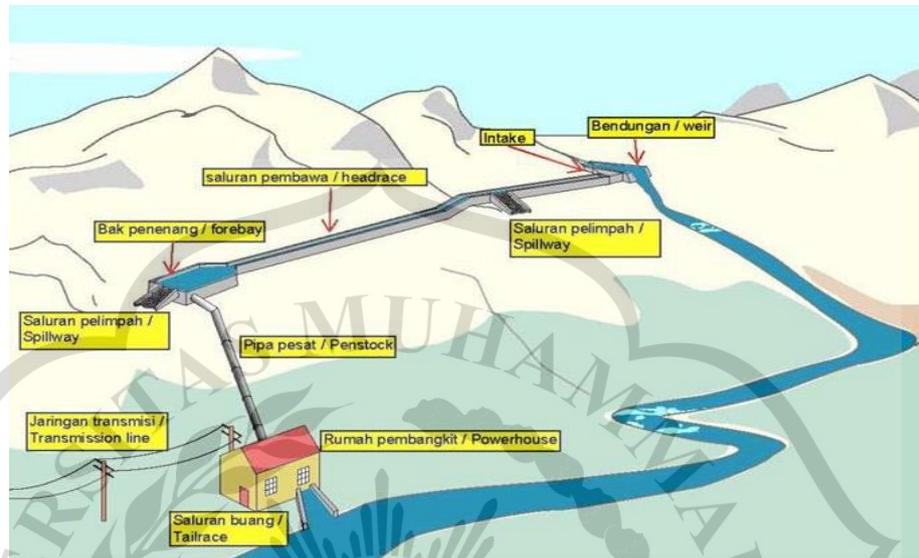
Penelian sebelumnya oleh Alex Okibe Edeoja, Matthew Ekoja and Joshua Sunday Ibrahim (*Department of Mechanical Engineering, University of Agriculture, Makurdi, Nigeria*) berjudul *Turbine Dimensionless Coefficients and the Net Head/Flow Rate Characteristic for a Simplified PicoHydro Power System* menyimpulkan bahwa mencari karakteristik ketinggian jatuh air dengan memanfaatkan air menjadi *energy* listrik.

Pada penelitian sebelumnya oleh Bryan Patrick Ho-Yan (*Engineering and International Development Guelph, Ontario, Canada*) april 2012 berjudul *Design of a Low Head Pico Hydro Turbine for Rural Electrification in Cameroon* menyimpulkan bahwa ketergantungan pada energi bahan bakar fosil dan diagregasi oleh volatilitas harga dan premi yang dibayar oleh penghuni lokasi terpencil. Manufaktur lokal dan dipelatihan kritis yang tepat untuk memperkuat keberhasilan skala kecilsistem pembangkit listrik.

## **2.2 Dasar Teori**

Menurut Awal Ramadhan (4 maret 2016), Energi air adalah energi yang telah dimanfaatkan secara luas di Indonesia yang sebagiannya telah digunakan sebagai pembangkit listrik yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan pasokan listrik bagi masyarakat Indonesia. Yang dimanfaatkan dari energi air yaitu arus air yang mengalir, karena arus air yang mengalir mengandung energi potensial (tekanan) dan dapat diubah ke dalam energi kinetis (kecepatan), artinya bahwa arus

air yang mengalir ini dapat dilewatkan melalui tinggi jatuh menuju turbin air, sehingga energi yang ada dapat diubah dalam bentuk energi lainnya.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja PLTMH

(sumber : [www.kajianpustaka.com](http://www.kajianpustaka.com))

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah suatu sistem pembangkit listrik yang dapat mengubah potensi air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik dengan menggunakan turbin air dan generator. Sistem seperti ini dipasang pada sungai kecil dan tidak memerlukan *dam* yang besar sehingga dampaknya sangat kecil terhadap lingkungan.

Sistem PLTMH secara umum sama persis dengan PLTA pada umumnya yang membedakan adalah daerah kerja sistem pembangkit listrik tersebut. PLTMH dapat memanfaatkan sumber air yang tidak terlalu besar.

Daya yang dibangkitkan antara 5 kW sampai 100 kW. Daya (*power*) yang dihasilkan merupakan reaksi antara *head* dan debit air yang dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$P = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

P = daya teoritis yang dikeluarkan (kW)

$\rho$  = Massa jenis air (1000 kg/m<sup>3</sup>)

H = tinggi jatuh air efektif (m)

Q = debit air (m<sup>3</sup>/s)

g = gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

### 2.3 Penentuan Berdasarkan Tinggi Terjunnya Air

1. PLTA jenis terusan air (*water way*) adalah pusat listrik yang mengalirkan air ke hilir melalui terusan air dengan kemiringan (*gradient*) yang agak kecil. Tenaga listrik dibangkitkan dengan cara memanfaatkan tinggi terjun dengan kemiringan sungai tersebut.
2. PLTA jenis bendungan (*dam*) adalah jenis pusat listrik dengan membangkitkan tenaga listrik dengan memanfaatkan tinggi terjun yang diperoleh antara sebelah hulu dan hilir sungai.
3. PLTA jenis bendungan dan terusan air membangkitkan tenaga listrik dengan menggunakan tinggi terjun yang didapatkan dari bendungan dan terusan.

### 2.4 Pengertian Turbin Air

Mennurut Caesar Febria Awal Ramadhan Ayusreza (4 maret 2016). Turbin air adalah alat untuk mengubah energi air menjadi energi puntir, Energi puntir ini

kemudian akan diubah menjadi energi listrik yang ditransmisikan pada generator. Energi potensial dari air dalam pipa secara terus menerus berubah menjadi energi kinetis, kemudian didalam turbin, energi kinetis ini diubah menjadi energi mekanis. Perubahan energi pada turbin ini dilakukan oleh *runner (sudu jalan)* yang dihubungkan oleh transmisi untuk memutar generator sehingga energi mekanis dapat dirubah menjadi energi listrik. Turbin air dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa cara, namun yang paling utama adalah klasifikasi turbin air berdasarkan cara turbin air tersebut merubah energi air menjadi energi mekanis. Yaitu :

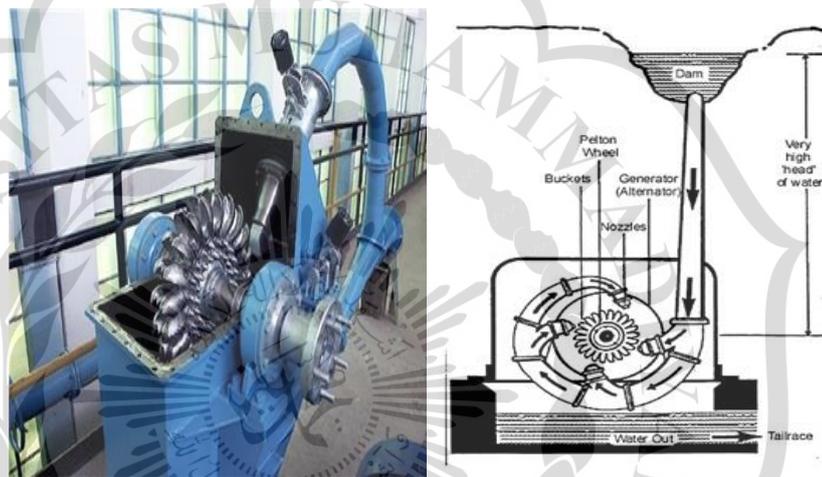
#### 2.4.1 Turbin *impuls*

Turbin *impuls* merubah aliran semburan air. Semburan turbin membentuk sudut yang membuat aliran turbin. Hasil perubahan momentum (*impuls*) disebabkan tekanan pada sudu turbin. Sejak turbin berputar, gaya berputar melalui kerja dan mengalihkan aliran air dengan mengurangi energi. Sebelum mengenai sudu turbin, tekanan air (*energi potensial*) dikonversi menjadi energi kinetik oleh sebuah nosel dan difokuskan pada turbin. Tidak ada perbedaan tekanan pada saat air masuk dan pada saat air meninggalkan turbin. Contoh penggunaan turbin air jenis impuls :

##### a. Turbin *Pelton*

Turbin *Pelton* terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nosle. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien dan yang cocok digunakan untuk *head* tinggi. Pada pembangkit listrik skala besar *head* yang dibutuhkan lebih kurang 150 meter tetapi untuk skala

mikro *head* 20 meter sudah mencukupi. Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengahnya dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis.

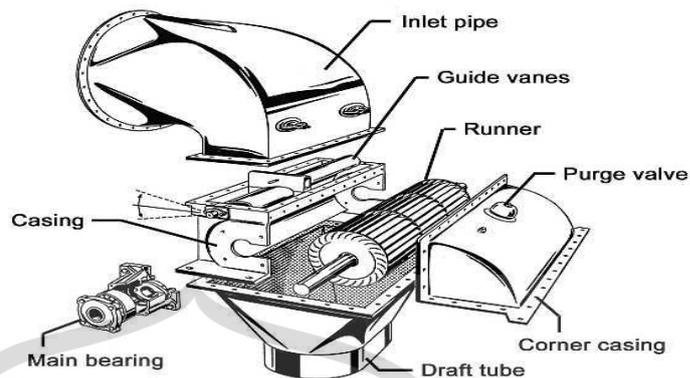


Gambar 2.2 Turbin Pleton

(sumber : <https://derlanmarzela.wordpress.com/2015/10/19/turbin-pelton/>)

b. Turbin *crossflow*

Turbin *crossflow* menggunakan *nozzle* persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar *runner*. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. *Runner* turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.



Gambar 2.3 Turbin *crossflow*

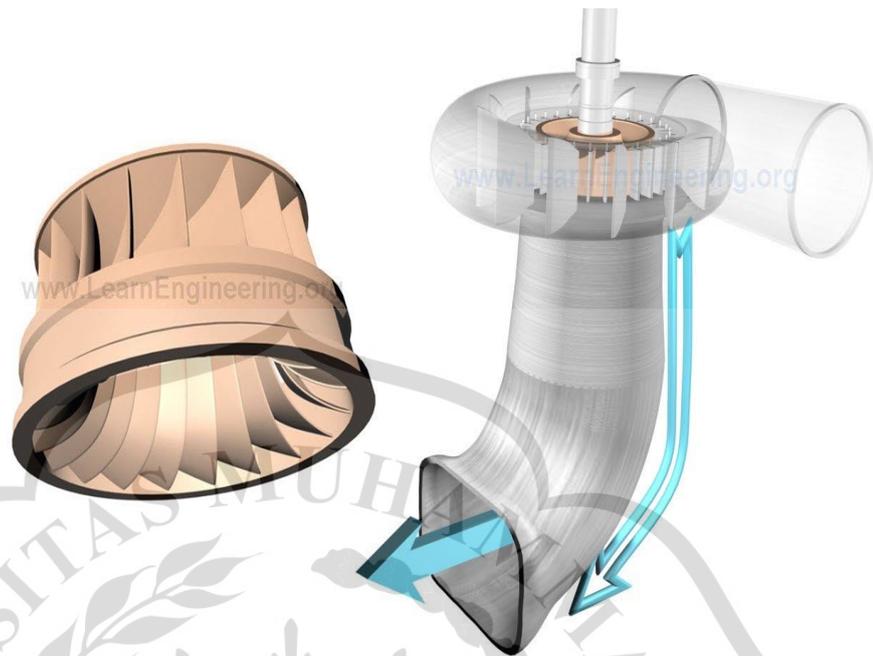
(sumber : <http://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo>)

#### 2.4.2 Turbin *Reaksi*

Turbin *reaksi* adalah turbin air yang cara kerjanya dengan merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi puntar ( mekanis ). Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Runner turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin. Contoh jenis turbin dari turbin reaksi ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

##### a. Turbin *Francis*

Turbin *francis* merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin *Francis* menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin *Francis* dapat merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya.

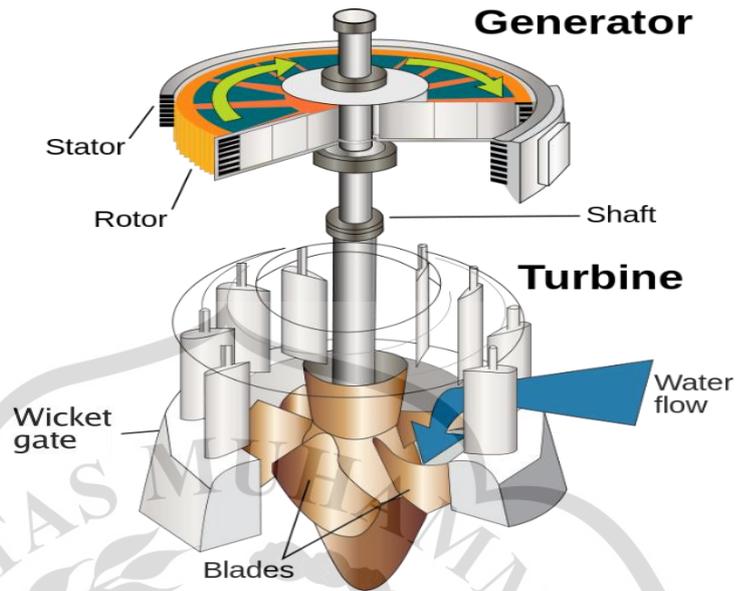


Gambar 2.4 Turbin francis

(sumber : <http://www.satuenergi.com/2015/03/prinsip-kerja-turbin-francis.html>)

b. Turbin *Kaplan*

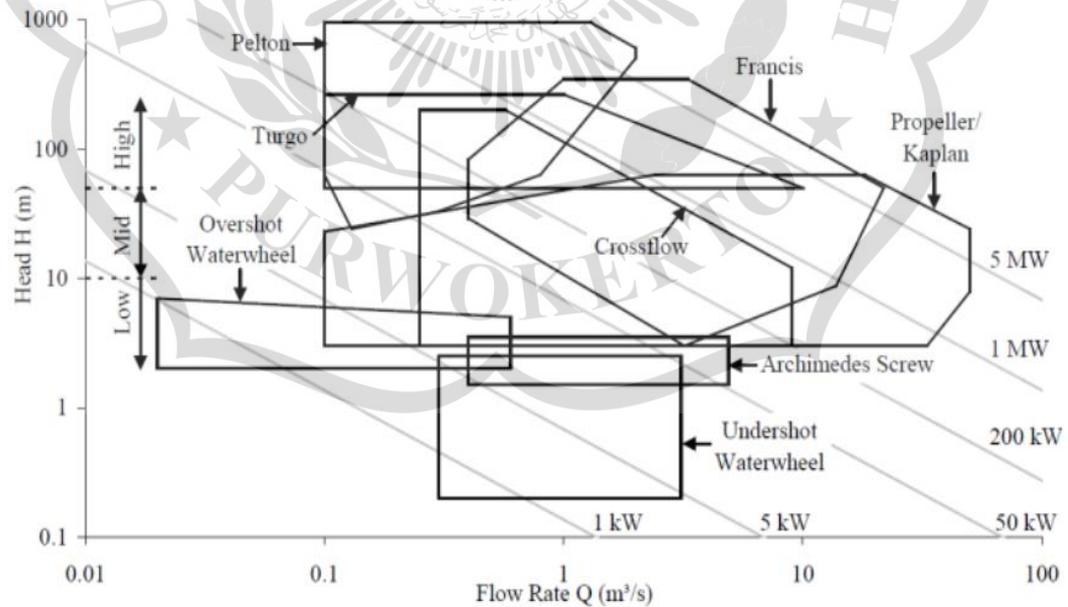
Turbin kaplan ini mempunyai roda jalan yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang. Bila baling-baling pesawat terbang berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong, roda jalan pada kaplan berfungsi untuk mendapatkan gaya  $F$  yaitu gaya putar yang dapat menghasilkan torsi pada poros turbin. Sudu-sudu pada roda jalan kaplan dapat diputar posisinya untuk menyesuaikan kondisi beban turbin. Turbin kaplan mempunyai kelebihan dapat menyesuaikan *head* yang berubah-ubah sepanjang tahun. Turbin dapat beroperasi pada kecepatan tinggi sehingga ukuran roda turbin lebih kecil dan dapat dikopel langsung dengan generator.



Gambar 2.5 Turbin Kaplan

(sumber : <http://hydropowerplantsttpln.blogspot.com/2012/02/pelatihan-di-bandung.html>)

Pemilihan jenis turbin juga ditentukan oleh debit aliran air. Berikut adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara debit dan *head* beberapa jenis turbin.



Gambar 2.6 Grafik Menentukan Turbin

(Sumber : S.J Willianson, 2012)

Menurut Muhammad Rizki Kresnawan (Oktober 2015), berikut ini daftar persamaan yang digunakan untuk merancang sebuah turbin *crossflow* :

1. Menghitung efisiensi dari turbin dengan menggunakan persamaan yang didapatkan dari tinjauan pustaka yaitu :

$$\eta = \frac{1}{2} \times C^2 \times (1 + \psi) \times \cos^2(\alpha) \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

$\eta$  = Efisiensi turbin (%)

$C$  = Koefisien kekasaran nosel (0,9538)

$\psi$  = Koesfisien kekasaran *blade* (0,9538)

$\alpha$  = Sudut terpaan (deg.)

2. Menghitung daya output dengan memperhitungkan nilai efisiensi dari turbin dengan persamaan di bawah ini :

$$P_t = \rho \times Q \times g \times H \times \eta \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

$\eta$  = efisiensi turbin *crossflow* (%)

$P_t$  = Daya bersih yang dihasilkan oleh turbin (kW)

$\rho$  = Massa jenis air (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$H$  = tinggi jatuh air efektif (m)

$Q$  = debit air (m<sup>3</sup>/s)

$g$  = gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

3. Perhitungan kecepatan turbin *crossflow* dengan persamaan berikut :

$$N = \frac{513,25 \times H^{0,745}}{\sqrt{Pt}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

N = Kecepatan turbin (*rpm*)

4. Penentuan spesifikasi komponen turbin *crossflow* yang digunakan

a. Diameter luar *runner*

$$D_o = 40 \times \frac{\sqrt{H}}{N} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

D<sub>o</sub> = Diameter luar *runner* (m)

b. Jarak antar sudu

$$tb = 0,174 \times D_o \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

tb = Jarak antar sudu (m)

c. Jumlah sudu

$$n = \frac{\pi \times D_o}{tb} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

n = Jumlah sudu (buah)

$\pi = phi$  (3.14)

d. Panjang *runner*

$$L = \frac{Q \times N}{(50 \times H)} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

L = Panjang *runner* (m)

e. Lebar Nosel

$$t_j = 0,29 \times D_o \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan

:  $t_j$  = Lebar nosel (m)

f. Jarak antara pemancar air dengan keliling *runner*

$$y = 0,05 \times D_o \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

y = Jarak pemancar air dengan keliling *runner* (m)

g. Radius lekukan sudu

$$r_c = 0,163 \times D_o \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

$r_c$  = Radius lekukan sudut (m)

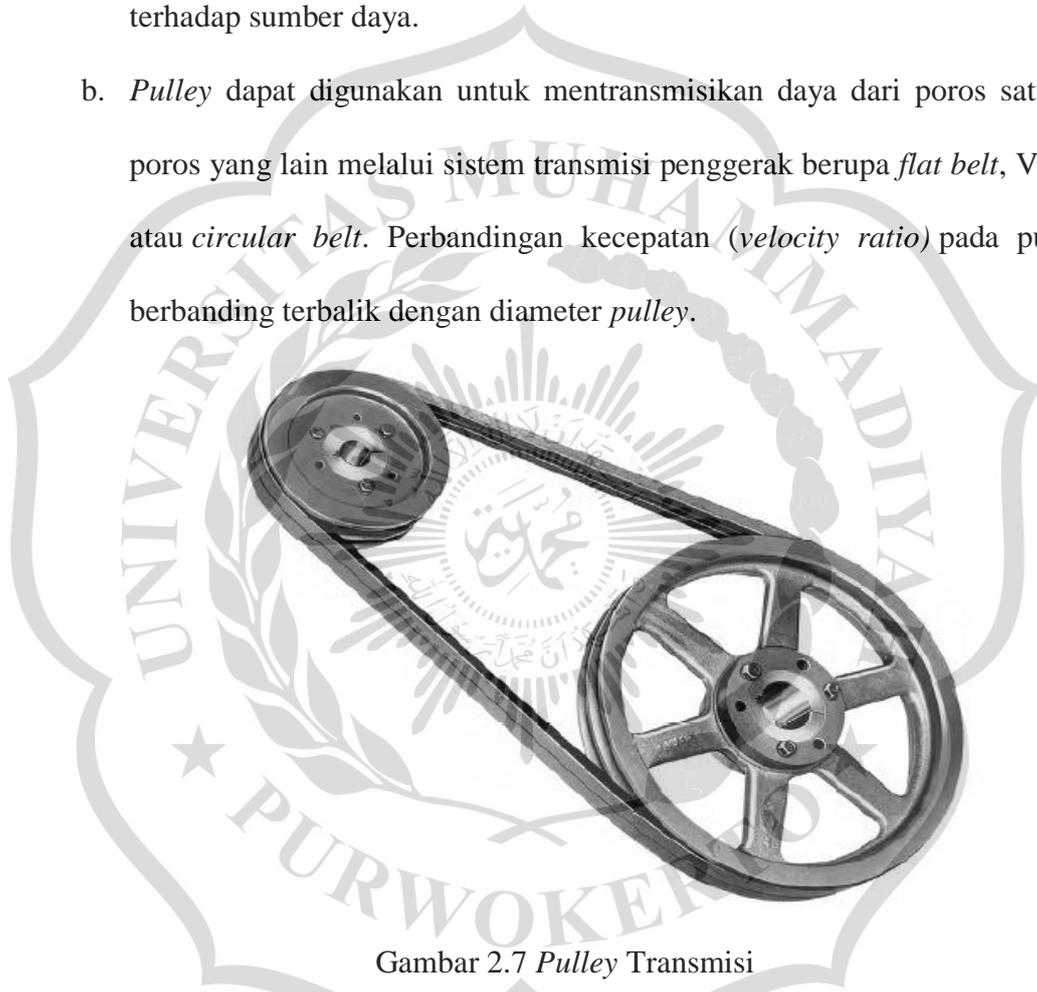
## 5. Sistem Transmisi Secara Mekanis

Sistem transmisi adalah sistem yang berfungsi untuk konversi torsi dan kecepatan (putaran) dari mesin menjadi torsi dan kecepatan yang berbeda-beda untuk diteruskan ke penggerak akhir. Konversi ini mengubah kecepatan putar yang tinggi menjadi lebih rendah tetapi lebih bertenaga, atau sebaliknya. Secara umum transmisi sebagai salah satu komponen sistem pemindah tenaga (*power train*) memiliki beberapa jenis/tipe antara lain :

a. Roda gigi (*Gear*) adalah bagian dari mesin yang berputar yang berguna untuk mentransmisikan daya. Roda gigi memiliki gigi-gigi yang saling

bersinggungan dengan gigi dari roda gigi yang lain. Dua atau lebih roda gigi yang bersinggungan dan bekerja bersama-sama disebut sebagai transmisi roda gigi, dan bisa menghasilkan keuntungan mekanis melalui rasio jumlah gigi. Roda gigi mampu mengubah kecepatan putar, torsi, dan arah daya terhadap sumber daya.

- b. *Pulley* dapat digunakan untuk mentransmisikan daya dari poros satu ke poros yang lain melalui sistem transmisi penggerak berupa *flat belt*, *V-belt* atau *circular belt*. Perbandingan kecepatan (*velocity ratio*) pada pulley berbanding terbalik dengan diameter *pulley*.



Gambar 2.7 *Pulley* Transmisi

(sumber:[http://www.tristatebearing.com/images/belts\\_and\\_sheaves\\_distributor\\_large.jpg](http://www.tristatebearing.com/images/belts_and_sheaves_distributor_large.jpg))

Adapun perhitungan dari *pulley* transmisi disini menggunakan persamaan berikut ini :

$$x = \frac{Ns}{N} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan : x = rasio pembanding

Ns = Kecepatan *generator* sinkron (*rpm*)

N = Kecepatan turbin (*rpm*)

Sedangkan panjang dari *belt* yang akan digunakan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$l = 2C + 1,57 (D1 + D2) + \frac{(D2-D1)^2}{4C} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan : l = Panjang *belt*/sabuk (mm)

C = Jarak antara poros (mm)

D1 = Diameter *pulley generator* (mm)

D2 = Diameter *pulley turbin* (mm)

## 2.5 Pengertian Generator

Generator adalah sumber tegangan listrik yang diperoleh melalui perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul ggl induksi. Generator mempunyai dua komponen utama, yaitu bagian yang diam (*stator*) dan bagian yang bergerak (*rotor*). Rotor berhubungan dengan poros generator yang berputar di pusat *stator*. Poros generator biasanya diputar menggunakan usaha luar yang dapat berasal dari turbin, baik turbin air atau turbin uap dan selanjutnya berproses menghasilkan arus listrik.

Pada skripsi ini, digunakan tipe generator AC dengan kutub internal (internal pole generator), dimana medan magnet dibangkitkan oleh kutub rotor dan tegangan AC dibangkitkan pada rangkaian *stator*. Tegangan yang dihasilkan akan *sinusoidal* jika rapat *fluks* magnet pada celah udara terdistribusi sinusoidal dan rotor diputar pada kecepatan konstan. Tegangan AC tiga fasa dibangkitkan pada mesin sinkron kutub internal pada tiga kumparan *stator* yang diset sedemikian rupa sehingga membentuk beda fasa dengan sudut  $120^\circ$ .



Gambar 2.8 Generator Sinkron Tipe Y2 250M2 55 kW

(sumber:<https://cntongbo.en.made-in-china.com/product/ZyAJkzIObUWE/China-Y2-250m-2-55kw-75HP-Y2-Series-Three-Phase-Asynchronous-Motor.html>)

Pada skripsi ini, digunakan tipe generator AC dengan kutub internal (internal pole generator), dimana medan magnet dibangkitkan oleh kutub rotor dan tegangan AC dibangkitkan pada rangkaian *stator*. Tegangan yang dihasilkan akan sinusoidal jika rapat fluks magnet pada celah udara terdistribusi *sinusoidal* dan rotor diputar pada kecepatan konstan. Tegangan AC tiga fasa dibangkitkan pada mesin

sinkron kutub internal pada tiga kumparan stator yang diset sedemikian rupa sehingga membentuk beda fasa dengan sudut  $120^\circ$ .

## 2.6 System Proteksi

Sebagai sumber energi listrik dalam suatu sistem tenaga generator memiliki peran yang penting, sehingga tripnya PMT/CB generator jangan sampai terjadi karena sangat mengganggu kehandalan *system* distribusi listrik, terutama generator yang berdaya sebesar 50kW.

Dan juga karena letaknya di hulu, PMT/CB generator tidak boleh mudah trip tetapi juga harus aman bagi generator, walaupun didalam sistem banyak terjadi gangguan. Untuk menjaga keandalan dari kerja generator, maka dilengkapi generator dengan peralatan - peralatan proteksi.

Peralatan proteksi generator harus betul-betul mencegah kerusakan generator, karena kerusakan generator selain akan menelan biaya perbaikan yang mahal juga sangat mengganggu operasi sistem. Jenis-jenis proteksi minimal pada generator meliputi:

1. Proteksi *overcurrent* (terjadi arus besar yang disebabkan oleh gangguan )

Proteksi jenis ini difungsikan untuk mengamankan generator dari arus melebihi rating generator tersebut.

2. Proteksi *Earth-fault*

Proteksi jenis ini difungsikan untuk mengamankan generator dari arus gangguan tanah yang mengalir ke fase netral generator.

Untuk mengetahui batas nilai arus yang diperbolehkan mengalir pada piranti pengaman maka digunakan persamaan di bawah ini :

$$I = \frac{P}{(\sqrt{3}V \cos \varphi)} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

I = Arus beban penuh (A)

P = Daya generator (Watt)

V = Rating tegangan generator (V)

$\cos \varphi$  = Faktor daya

