

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air

PLTA adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga air sebagai sumber penghasil energi listrik. PLTA termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Tenaga air berasal dari aliran anak sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik. Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik.

Pembangkit listrik tenaga air merupakan suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Beberapa klasifikasi PLTA bervariasi berdasarkan tenaga yang dihasilkan, dengan Mikro Hidro di bawah 100 kW, Mini Hidro dengan 100 – 500 kW dan Small Hidro 500 – 10.000 kW (*Ramos, 2000*). Akan tetapi prinsip kerjanya adalah sama yaitu perubahan tenaga potensial menjadi tenaga listrik. Perubahan energi tersebut tidak terjadi secara langsung, tetapi berturut-turut melalui perubahan sebagai berikut (*Dwiyanto, 2016*).

1. Energi potensial menjadi energi kinetik.
2. Energi kinetik menjadi energi mekanik.
3. Energi mekanik menjadi energi listrik.

Tenaga potensial adalah tenaga air karena berada pada ketinggian. Energi kinetik adalah tenaga air karena mempunyai kecepatan. Energi mekanik adalah tenaga kecepatan air yang terus memutar kincir atau turbin. Energi listrik adalah hasil dari generator yang berputar akibat berputarnya kincir atau turbin. Keuntungan PLTA ialah:

1. PLTA ini cukup murah karena menggunakan energi alam,
2. Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil,
3. Tidak menimbulkan pencemaran pada lingkungan,
4. Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan,
5. Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.

Peningkatan kebutuhan suplai daya ke daerah-daerah pedesaan di sejumlah negara, sebagian untuk mendukung industri-industri dan sebagian untuk menyediakan penerangan di malam hari. Keterbatasannya energi listrik memberikan sebuah alternatif ekonomi ke dalam jaringan. Hal ini dikarenakan Skema PLTA yang mandiri dapat menghemat dari jaringan transmisi, karena skema perluasan jaringan tersebut biasanya memerlukan biaya peralatan dan pegawai yang mahal (Wenes, 2015).

Potensi sumber daya air yang melimpah di Indonesia karena banyak terdapatnya hutan hujan tropis, membuat kita harus bisa mengembangkan potensi ini, karena air adalah sebagai sumber energi yang dapat terbarukan dan alami. Bila hal ini dapat terus dieksplorasi, konversi air menjadi energi listrik sangat menguntungkan bagi negeri ini. Di Indonesia telah terdapat banyak sekali PLTA dan waduk untuk menampung air, tinggal bagaimana kita dapat mengembangkan PLTA menjadi lebih baik lagi dan lebih efisien (Wenes, 2015).

2.2 Prinsip Pembangkit Listrik Tenaga Air

PLTA pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, anak sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik. Sebuah skema PLTA memerlukan dua hal yaitu, debit air dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) dalam bentuk energi mekanik dan energi listrik (Donald, 1994). Potensi daya PLTA dapat dihitung menggunakan persamaan 1.

$$P = \rho g Q H \eta \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

- P = Daya yang dibangkitkan PLTA (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 *Hydro Power* (umumnya $\eta = 0,85$)

2.3 Debit Aliran

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). Dalam laporan-laporan teknis, debit biasanya ditunjukkan dalam bentuk hidrograf aliran (*Asdak, 2007: 190*).

Pengukuran debit aliran dapat dilakukan dengan mengukur waktu tempuh pelampung untuk panjang atau jarak tertentu yang ditentukan. Dari besaran jarak dan waktu dapat dihitung kecepatan air. Karena pelampung hanya mengukur kecepatan pada permukaan air diperlukan modifikasi (mengisi pelampung dengan air agar massa jenisnya hampir sama dengan air sehingga melayang) agar kecepatannya bisa mewakili seluruh luas penampang (*Windarti, 2014*).

PLTA skala kecil (PLTMH atau PLTA Mini) sangat tergantung dengan ketersediaan air dan kondisi alam sekitar pembangkit, untuk itu perkiraan debit air dan maksimum sangat penting dalam suatu perencanaan (*Warren, 1993*). Untuk menghitung jumlah debit air dapat digunakan persamaan 2.

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

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

A = Luas penampang aliran (m^2)

v = Kecepatan aliran (m/s)

2.4 Turbin Air

Turbin air adalah turbin dengan media kerja air, 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. Pada sudu putar atau *rotary blade*, mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga timbul gaya yang memutar poros. Turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin implus dan turbin reaksi. Berikut ini merupakan klasifikasi berbagai jenis turbin air yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA):

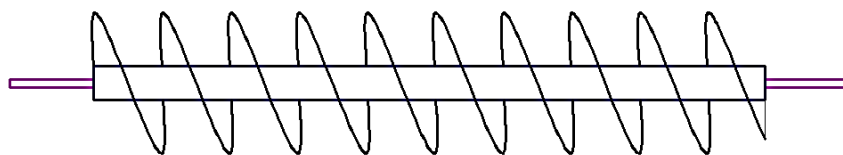
1. Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nosel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Energi potensial yang dimiliki air dikonversi menjadi energi kinetik dan masuk melalui nosel. Air yang keluar dari nosel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur

sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impulse). Jenis turbin impuls diantaranya yaitu: Turbin Pelton, Turbin Turgo, Turbin *Cross Flow*.

2. Turbin reaksi adalah turbin reaksi mempunyai profil khusus pada sudu yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai jenis turbin reaksi diantaranya yaitu: Turbin *Francis*, Turbin Kaplan.

2.4.1 Turbin Archimedes Screw

Archimedes sekrup adalah salah satu mesin tertua yang masih digunakan dan berfungsi mengangkat air untuk irigasi dan drainase. Turbin ulir berasal dari konsep kuno oleh ahli matematika dan fisika *Archimedes* (287 – 212 SM). Sekrup *Archimedes* terdiri dari permukaan heliks yang mengelilingi poros silindris pusat di dalam pipa berongga seperti pada Gambar 2. Ketika digunakan sebagai pompa, sekrup biasanya diputar oleh generator atau tenaga kerja manual. Ketika poros berputar, ujung bawah menggulung volume air yang disebut sebagai ember. Air ini akan meluncur ke dalam tabung spiral saat sekrup berputar, sampai akhirnya mengalir keluar dari bagian atas sekrup. Pompa sekrup digunakan terutama untuk mengalirkan air keluar dari tambang atau area lain dari air yang rendah. Palung yang terbuka dan desain keseluruhan sekrup memungkinkan lintasan puing tanpa tersumbat.



Gambar 2. Turbin Archimedes Screw

Selain dikenal dengan turbin ulir, sesuai dengan konseptor awalnya, turbin ini juga disebut sekrup Archimedes (*Archimedes screw*). Turbin ulir lebih cocok dipakai untuk tinggi tenaga (head) rendah atau beda elevasi antara hulu dan hilir aliran rendah bahkan nol. Turbin Archimedes screw dapat digunakan di situs hidro air rendah sebagai sarana menghasilkan listrik. Ini dilakukan dengan menjalankan sekrup *Archimedes* secara terbalik, yaitu menjatuhkan air dari atas dan membiarkan sekrup berputar ketika

air turun. Ini adalah cara yang ekonomis dan efisien untuk menghasilkan listrik dari aliran kecil. Sekrup berputar dan menghasilkan listrik karena tekanan hidrostatik dari air pada permukaan sekrup. Saat air mengisi sekrup dari saluran masuk di bagian atas lereng, tekanan pada bidang heliks sekrup memungkinkan untuk rotasi sekrup (Rorres, 2000).

Prinsip kerja turbin Archimedes screw ini yaitu, air dari ujung atas mengalir masuk ke ruang di antara kisar blade screw (bucket) dan keluar dari ujung bawah. Sehingga menimbulkan gaya berat air dan beda tekanan hidrostatik dalam bucket di sepanjang rotor mendorong blade screw dan memutar rotor pada sumbunya.

Kemudian rotor turbin memutar generator listrik yang disambungkan dengan ujung atas poros turbin screw. Adapun kelebihan yang dimiliki oleh turbin Archimedes Screw dibandingkan dengan jenis turbin lain yaitu sebagai berikut:

- [1] Baik dikembangkan pada daerah yang memiliki sumber air dengan debit yang cukup besar (sungai) namun hanya memiliki head yang rendah,
- [2] Tidak memerlukan sistem kontrol yang sangat rumit seperti turbin lainnya.
- [3] Tekanan air yang terjadi pada turbin tidak merusak ekologi dalam hal ini dampak terhadap makhluk hidup air (ikan),
- [4] Tidak membutuhkan draft tube, sehingga dapat mengurangi pengeluaran untuk penggalian pemasangan draft tube,
- [5] Memiliki efisiensi yang tinggi, dengan variasi debit yang besar dan sangat baik untuk debit air yang kecil,
- [6] Tidak memerlukan jaring-jaring halus sebagai pencegah masuknya puing-puing kedalam turbin, sehingga dapat mengurangi biaya perawatan.

2.5 Desain Perhitungan Dimensi Turbin Archimedes Screw

Pembahasan yang akan diuraikan adalah mengenai desain dari turbin air tipe *screw* dengan mempertimbangkan dimensi turbin bahan-bahan yang banyak tersedia di pasaran serta menyesuaikan tema judul yakni PLTA Mini Portabel. Untuk menentukan dimensi dari turbin air tipe screw dilakukan desain dimulai dari berbagai bagian turbin seperti pemilihan rencana sudut ulir, penentuan sudut turbin, perbandingan diameter ulir bagian dalam dan luar dll. Sehubungan dengan pertimbangan target judul yakni PLTA

Mini Portabel dan ketersediaan bahan yang ada di pasaran serta kemampuan untuk pembuatan maka dalam optimasi turbin air tipe *screw* dipilih nilai $d/D = 0,3$.

Pilihan $d/D = 0,3$ dipilih karena akan menentukan dimensi ukuran yang diambil adalah kecil (mini) karena bersifat portabel mudah dibawa kemana mana serta mudah diaplikasikan ke perairan mengalir mana saja dengan head rendah.

2.5.1 Perhitungan Diameter Turbin (D)

Dalam desain persamaan *Archimedes screw*, diperlukannya data - data peninjauan (*surveying*) lokasi perairan yang mengalir dalam perhitungan debit aliran Q (m^3/s) diperoleh dari persamaan (*Rorres, 2000*):

$$Q = k \cdot n \cdot D^3 \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

- k = Konstanta ulir
- n = Putaran turbin *screw* (rpm)
- D = Diameter turbin (m)

Dilanjutkan dengan pemilihan rencana sudut ulir turbin dan nilai konstanta ulir didapat dari Tabel nilai konstanta ulir (*Rorres,2000*). Berikut **Tabel 1** Nilai Konstanta Ulir:

Tabel 1. Nilai Konstanta Ulir

d/D	22 °			26 °			30 °
	1.0D	1.2D	0.8D	1.0D	1.2D	0.8D	1.0D
0.3	0.331	0.335	0.274	0.287	0.286	0.246	0.245
0.4	0.35	0.378	0.285	0.317	0.323	0.262	0.271
0.5	0.345	0.38	0.281	0.317	0.343	0.319	0.287
0.6	0.315	0.351	-	0.3	0.327	-	0.273

Keterangan :

d/D = Merupakan Perbandingan diameter poros turbin terhadap diameter sudu turbin antara sudut ulir turbin 22°, 26°, 30°= sudut ulir (α)

Setelah menentukan sudut ulir rencana turbin *screw* langsung rencanakan kecepatan putaran dengan pemilihan rencana Putaran Operasi Turbin Screw dengan satuan rpm. Tabel 2 rencana putaran operasi turbin screw (*Rorres, 2000*).

Tabel 2. Rencana Putaran Operasi Turbin Screw (n)

Speed	Turbine revolution per minute (rpm)
Slow	20-23
Medium	25-26
Fast	29-31

Persamaan yang akan digunakan untuk perhitungan dimensi turbin *screw* adalah sebagai berikut (Rorres, 2000):

Diameter turbin (D) – (meter)

$D^3 = Q / k.n$, maka apabila disederhanakan menjadi :

$$D = \sqrt[3]{\frac{Q}{k.n}} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- k = Nilai konstanta ulir yang diperoleh dari Tabel 1,
- Q = Nilai perhitungan debit yang diukur ditempat objektifitas,
- n = Nilai rpm rencana yang dipilih dari Tabel 2.

2.5.2 Diameter Poros Turbin (d)

Setelah menghitung Diameter turbin (D) lalu masukkan hasil Diameter tadi ke perbandingan diameter poros turbin terhadap diameter ulir turbin yang telah ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

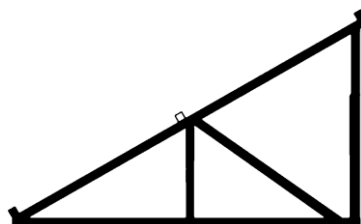
$$d/D = 0,3 \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

- D = Diameter turbin (m)
- d = Diameter poros turbin (m)

2.5.3 Sudut Turbin Rencana

Setelah menghitung Diameter poros turbin dilanjutkan dengan penentuan sudut turbin rencana (Rorres, 2000):

**Gambar 3.** Desain Rencana Sudut Turbin

Dan dari kajian literatur “*The Turn Of The Screw Optimal Design Of An Archimedes Screw*” pemilihan sudut turbin berkisar 25° – 40° . Dari rencana yang akan diambil adalah sudut 25° - 30° dikarenakan turbin ini difungsikan pada *head* yang rendah.

2.5.4 Panjang Turbin (L)

$$\sin \theta = \frac{H}{L} \dots \dots \dots (6)$$

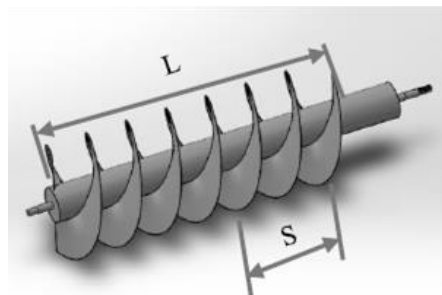
Dimana :

θ = Sudut turbin rencana ($^{\circ}$)

H = Head hasil pengukuran (meter)

2.5.5 Pitch Turbin (S)

Untuk menentukan nilai *pitch* turbin, terlebih dahulu harus menentukan nilai sudut turbin (θ) pada poin 2.5.3:



Gambar 4. Bagian per Pitch Turbin

Keterangan :

- Jika sudut turbin $\leq 30^{\circ}$, maka $S = 1,2 D$ (7)

- Jika sudut turbin $= 30^{\circ}$, maka $S = 1,0 D$ (8)

- Jika sudut turbin $\geq 30^{\circ}$, maka $S = 0,8 D$(9)

2.5.6 Jumlah Ulir (N)

$$N = \frac{L}{S} \dots \dots \dots (10)$$

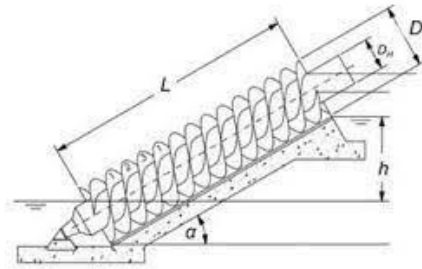
Dimana :

L = Panjang Turbin (m)

S = Pitch Turbin (Bagian per ulir turbin)

Untuk menentukan nilai *pitch* turbin, terlebih dahulu harus menentukan nilai sudut turbin rencana (θ) pada poin 2.5.3.

2.5.7 Efisiensi Turbin Ulir



Gambar 5. Parameter Turbin *Screw* Rencana

Efisiensi turbin merupakan sebuah penilaian dalam segi kinerja pada turbin ulir *Screw*, dimana kinerja ini dilihat dari parameter turbin yang telah direncanakan sesuai tahapan yang ada pada poin diatas. Berikut dilampirkan Formula efisiensi turbin ulir screw (*Rorres*, 2000):

$$\Delta h = x \sin \theta \dots\dots\dots(11)$$

$$a = \frac{h_0}{\Delta h} \dots\dots\dots(12)$$

$$x = \frac{1}{N} S \dots\dots\dots(13)$$

$$\eta_{Turbin} = \left(\frac{2a+1}{2a+2} \right) \cdot \left(1 - \frac{0,01125 \cdot D^2}{Q} \right) \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :

h_0 = Head Turbin bagian dasar (meter)

$\sin \theta$ = Sudut Turbin *Screw* Rencana ($^{\circ}$)

N = Jumlah Blade (buah)

S = Jumlah Pitch (bar)

η_{Turbin} = Efisiensi Turbin *Screw*

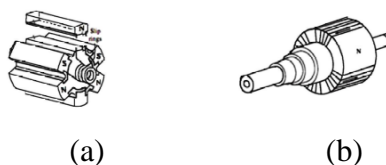
2.6 Generator

Generator merupakan alat untuk merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan melalui adanya medan magnet yang diputar melalui rotor dan akan menimbulkan medan magnet yang timbul disisi stator. Kemudian medan magnet yang terjadi di stator dengan pola-pola tertentu akan menimbulkan arus listrik yang mengalir dikumparan stator yang dialirkan melalui saluran transmisi sebagai arus listrik.

Semakin besar putaran generator maka semakin besar energi listrik yang didapat dan semakin besar energi kinetis yang diperlukan untuk memutarnya. Beban yang terpasang merupakan beban listrik yang digunakan sebagai media penerangan (Jasa dkk, 2010). Generator merupakan salah satu mesin listrik, untuk mengubah energi gerak atau mekanik menjadi energi listrik. Generator terdiri atas dua bagian utama yaitu kumparan jangkar dan kumparan medan yang ditempatkan pada stator dan rotor. Stator merupakan bagian yang diam sedangkan rotor merupakan bagian yang bergerak. (Nurhadi, dkk, 2013).

Generator sinkron merupakan mesin listrik arus bolak balik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus bolak-balik. Energi mekanik diperoleh dari penggerak mula (*primemover*) yang terkopel dengan rotor generator, sedangkan energi listrik diperoleh dari proses induksi elektromagnetik yang melibatkan kumparan rotor dan kumparan stator. Mesin listrik arus bolak-balik ini disebut sinkron karena rotor berputar secara sinkron atau berputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan medan magnet putar.

Generator sinkron secara umum dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk rotornya, yaitu generator turboatau *cylindrical-rotor generator* dan *salient pole generator*. Generator yang digunakan pada pembangkit listrik yang besar biasanya merupakan jenis generator turbo yang beroperasi pada kecepatan tinggi dan dikopel dengan turbin gas atau uap. Pada generator *salient-pole* biasanya digunakan untuk pembangkit listrik kecil dan menengah.



Gambar 6. (a) *Salient-pole Rotor* (b) *Cylindrical-rotor*.

Pada generator sinkron, arus searah dialirkan pada kumparan rotor yang kemudian menghasilkan medan magnet rotor. Rotor dari generator akan diputar oleh *prime mover*, menghasilkan medan magnet putar di dalam mesin. Pada stator generator juga terdapat kumparan. Medan magnet putar menyebabkan medan magnet yang melingkupi kumparan stator berubah secara kontinu. Perubahan medan magnet secara kontinu ini menginduksikan tegangan pada kumparan stator.

Tegangan induksi ini akan berbentuk sinusoidal dan besarnya bergantung pada kekuatan medan magnet serta kecepatan putaran dari rotor. Untuk membuat generator tiga fasa, pada stator ditempatkan tiga buah kumparan yang terpisah sejauh 120° satu sama lain, sehingga tegangan yang diinduksikan akan terpisah sejauh 120° satu sama lain pula.

2.6.1 Komponen Generator Sinkron

Secara umum ada dua komponen utama penyusun generator sinkron yaitu stator dan rotor. Stator merupakan bagian dari generator sinkron yang diam, tempat dimana tegangan induksi dibangkitkan. Sedangkan rotor merupakan bagian dari generator sinkron yang bergerak dan dialiri arus searah pada kumparannya. Pada stator, terdapat beberapa komponen utama, yaitu:

1. Rangka stator

Rangka luar yang biasanya terbuat dari baja berfungsi untuk menyokong struktur stator dan mempunyai kaki-kaki yang dipasang pada bagian fondasi. Rangka stator ini dibuat kokoh untuk mengatasi perubahan beban secara tiba-tiba atau hubung singkat tiga fasa.

2. Inti stator

Inti stator menyediakan jalur permeabilitas yang tinggi untuk proses magnetisasi. Inti stator dibuat berlaminasi untuk mengurangi rugi *eddy current* dan juga rugi histeresis. Bahan-bahan *non-magnetic* atau penggunaan perisai fluks yang terbuat dari tembaga juga digunakan untuk mengurangi *stray loss*.

3. Slot

Slot merupakan tempat untuk meletakkan kumparan stator yang dibentuk dengan sistem berbuku-buku.

4. Kumparan stator

Kumparan stator merupakan tempat terbentuknya tegangan induksi pada generator dan didesain untuk menghasilkan kutub-kutub elektromagnetik stator yang sinkron dengan kutub magnet rotor. Sedangkan pada bagian **rotor** terdapat tiga bagian utama, yaitu:

- *Collector ring* atau *slip ring*

Collector ring merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor, tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Bagian ini merupakan bagian yang terhubung

dengan sumber arus searah yang untuk selanjutnya dialirkan menuju kumparan rotor.

- Kumparan rotor

Kumparan rotor merupakan bagian yang dialiri arus searah sebagai sumber medan magnet melalui sistem eksitasi tertentu.

- Poros

Poros merupakan tempat untuk meletakkan kumparan rotor dan merupakan bagian yang terkopel dengan dan diputar oleh *prime mover*.

2.6.2 Prinsip Kerja Generator Magnetis Sinkron

Prinsip kerja generator magnetis sinkron dapat dijelaskan dengan menggunakan dua kaidah sederhana. Kaidah pertama untuk rangkaian magnetik dan kaidah yang kedua untuk tegangan yang diinduksi pada sebuah konduktor yang disebabkan karena variasi medan magnet. *Fluks ϕ* dalam suatu rangkaian magnet yang mempunyai reluktansi R dihasilkan karena adanya *magnetomotive force (mmf)* F_m , dimana *mmf* itu sendiri berasal dari adanya arus I yang mengalir melalui lilitan berjumlah N (Okot, 2013).

$$\phi = F_{\text{magnetic}} / R_{\text{magnetic}} \dots \dots \dots (15)$$

$$F_{\text{magnetic}} = I.N \dots \dots \dots (16)$$

Dimana :

- F_{Magnetic} = Gaya Magnet Generator
- R_{Magnetic} = Reluktansi Generator
- I = Arus Listrik pada Generator (Ampere)
- N = Jumlah Lilitan (buah)

2.6.3 Pemilihan Generator

Generator adalah suatu peralatan yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Jenis generator yang digunakan pada perencanaan PLTA dapat berupa (Dwiyanto, 2016):

1. Generator sinkron, sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) dengan penggunaan dua tumpuan bantalan (*two bearing*).

2. Induction Motor sebagai Generator (IMAG) sumbu vertikal, pada perencanaan turbin propeller open flume Efisiensi generator secara umum adalah :

- Aplikasi < 10 KVA efisiensi 0.7 – 0.8
- Aplikasi 10 – 20 KVA efisiensi 0.8 – 0.85
- Aplikasi 20 – 50 KVA efisiensi 0.85
- Aplikasi 50 – 100 KVA efisiensi 0.85 – 0.9
- Aplikasi >100 KVA efisiensi 0.9 – 0.95

Sistem kontrol yang digunakan pada perencanaan PLTA dapat menggunakan pengaturan beban sehingga jumlah output daya generator selalu sama dengan beban. Sistem kontrol telah dapat dipabrikasi secara lokal, dan terbukti handal pada penggunaan di banyak PLTA. Sistem kontrol ini terintegrasi pada panel kontrol (*switch gear*).

Fasillitas operasi panel kontrol minimum terdiri dari

1. Kontrol start/stop, baik otomatis, semi otomatis, maupun manual
2. Stop/berhenti secara otomatis
3. Trip stop (berhenti pada keadaan gangguan over-under voltage, over-under frekuensi.
4. *Emergency shut down*, bila terjadi gangguan listrik (misal arus lebih)

Tabel 3. Putaran Generator Sinkron (rpm)

Jumlah Pole (kutub)	Frekuensi, 50 Hz
2	3000
4	1500
6	1000
8	750
10	600
12	500
14	429

2.7 Perhitungan Daya dan Energi Listrik

Keuntungan suatu proyek Pembangkit Listrik Tenaga Air ditentukan dari besar daya yang dibangkitkan dan jumlah energi yang dibangkitkan tiap tahun. Jika tinggi jatuh efektif maksimum adalah H_{eff} (m), debit maksimum turbin adalah Q (m^3/dtk), efisiensi dari turbin dan generator masing-masing adalah η maka daya atau tenaga yang dibangkitkan oleh suatu Pembangkit Listrik Tenaga Air dapat dihitung dengan rumus (Arismunandar, 2004).

Daya Teoritis

$$P = 9,81 \times \rho \times Q \times H_{\text{eff}} \quad (w) \dots\dots\dots(17)$$

Daya Turbin

$$P = 9,81 \times \rho \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} \quad (w) \dots\dots\dots(18)$$

Daya Generator

$$\omega = \frac{n \cdot 2 \pi}{60} \dots\dots\dots(19)$$

$$T = \frac{5250 \cdot HP}{n} \dots\dots\dots(20)$$

$$P_{\text{Generator}} = T \times \omega \dots\dots\dots(21)$$

$$\eta_g = \frac{P_{\text{Generator}}}{9,81 \times \rho \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}}} \dots\dots\dots(22)$$

Dimana:

- P** = Daya yang dihasilkan (Watt)
 η_{turbin} = Efisiensi turbin *screw* (ppm)
 η_g = Efisiensi generator (rpm) – Umumnya *Hydro Power* 0,85
 ρ = Massa jenis air = 1000 (kg/m³)
Q = Debit pembangkit (m³/dtk)
 H_{eff} = Tinggi jatuh efektif (m)
 ω = Kecepatan Sudut (Rad/s)
T = Periods (Nm)
g = Gravitasi 9,81 m/s²

2.8 Perhitungan Efisiensi Daya

Efisiensi sistem (*I*/ PLTA) adalah suatu kemampuan peralatan pembangkit listrik untuk mengubah energi gerak kinetik dari air yang mengalir dan jatuh (*head*) menjadi energi listrik (Arismunandar, 2004). Untuk menghitung efisiensi dapat digunakan persamaan rumus sebagai berikut :

Efisiensi Daya Sistem

$$\eta_{\text{PLTA}} = \frac{P_{\text{Hidrolis}}}{P_{\text{Generator}}} \times 100\% \dots\dots\dots(23)$$

Dimana :

- η_{PLTA}** = Efisiensi PLTA
 P_{Hidrolis} = Daya Bangkitan pada sistem PLTA (Watt)
 $P_{\text{Generator}}$ = Daya Bangkitan dari Generator (Watt)

2.9 *Internet of Things (IoT)*

IoT adalah kepanjangan dari *Internet of Things* yang mana memiliki arti internet merupakan segalanya. Dalam hal ini bisa disimpulkan bahwa internet berperan penting dalam segala aktivitas dilakukan. Perkembangan teknologi di Indonesia semakin hari mengalami kemajuan hingga dititik ini. Pertumbuhan pesat ini menghadirkan terobosan baru yang kamu bahkan sulit memikirkannya dan sangat berguna pada Indonesia. Meskipun ketertinggalan Negara ini dibidang IPTEK sangat jauh, namun Indonesia tetap berusaha mengejar agar pertumbuhan teknologi terus berkembang. *IoT* adalah salah satu bukti yang bisa kamu liat sekarang.

Internet of things itu sendiri merupakan sebuah konsep di mana suatu benda atau objek ditanamkan teknologi-teknologi seperti sensor dan software dengan tujuan untuk berkomunikasi, mengendalikan, menghubungkan, dan bertukar data melalui perangkat lain selama masih terhubung ke internet.

Teknologi ini memang sudah dikembangkan sudah lama sekali, namun baru bisa diperkenalkan kepada masyarakat luas baru-baru ini sehingga namanya pun semakin melambung tinggi dan mulai populer digunakan.

IoT adalah salah satu dari sekian banyak teknologi yang dikembangkan untuk menghadapi era digital seperti sekarang dan dapat memudahkan masyarakat dan pengguna ketika memakainya serta dapat mengatasi kesulitan berbasis digital tersebut. Menanggapi hal tersebut pihak berwenang selalu melakukan pengembangan terhadap program ini agar kedepannya bisa mencapai hasil maksimal dan lebih berpotensi dalam membantu kebutuhan internet sehari-hari. *Internet of Thing (IoT)* merupakan sebuah konsep dimana suatu objek yang memiliki kemampuan untuk mentransfer data melalui jaringan tanpa memerlukan interaksi manusia ke manusia atau manusia ke komputer. *IoT* telah berkembang dari konvergensi teknologi nirkabel, *micro electromechanical systems (MEMS)*, dan Internet.

“A Things” pada Internet of Things dapat didefinisikan sebagai subjek misalkan orang dengan monitor implant jantung, hewan peternakan dengan transponder biochip, sebuah mobil yang telah dilengkapi built-in sensor untuk memperingatkan pengemudi ketika tekanan ban rendah. Sejauh ini, IoT paling erat hubungannya dengan komunikasi *machine to machine* (M2M) di bidang manufaktur dan listrik, perminyakan, dan gas. Produk dibangun dengan kemampuan komunikasi M2M yang

sering disebut dengan sistem cerdas atau *smart*. Sebagai contoh yaitu *smart* kabel, *smart* meter, *smart* sensor.

Teknologi IoT memungkinkan kita untuk mengontrol, memantau dan menganalisa perintah, data pengukuran dari sensor untuk historis penelitian dalam mode portable, kendali jarak jauh dan realtime menggunakan perangkat apapun dengan koneksi internet (*Budiman et al, 2019*).

2.9.1 Unsur Pembentuk Ekosistem *Internet of Things* (IoT)

Adapun Unsur Pembentuk Ekosistem *Internet of Things* (IoT), untuk membuat suatu ekosistem IoT, kita tidak hanya memerlukan perangkat-perangkat yang pintar, melainkan juga berbagai unsur pendukung lain di dalamnya. Berikut adalah berbagai unsur pembentuk *internet of things*:

1. Artificial Intelligence (Kecerdasan Buatan)

Yang pertama ada kecerdasan buatan atau disebut dengan *Artificial Intelligence*. Kecerdasan buatan atau artificial intelligence (AI) adalah sistem kecerdasan yang dimiliki oleh manusia yang diimplementasikan atau diprogram di dalam mesin agar mesin dapat dapat berpikir dan berlaku layaknya manusia. AI ini sendiri memiliki beberapa cabang, salah satunya adalah machine learning. Kamu dapat mempelajari machine learning ini di Machine Learning Developer Dicoading (MLDD) sebagai langkah awal untuk mengembangkan AI.

Kecerdasan Buatan (AI) adalah bidang ilmu komputer yang dikhususkan untuk memecahkan masalah kognitif yang umumnya terkait dengan kecerdasan manusia, seperti pembelajaran, pemecahan masalah, dan pengenalan pola. Kecerdasan Buatan, sering disingkat sebagai "AI", mungkin berkonotasi dengan robotika atau adegan futuristik, Kecerdasan Buatan (AI) mengungguli robot fiksi ilmiah, ke dalam non-fiksi ilmu komputer canggih modern. Profesor Pedro Domingos, seorang peneliti terkemuka di bidang ini, menggambarkan "lima suku" machine learning, yang terdiri dari simbolis, yang berasal dari logika dan filsafat; koneksionis, yang berasal dari ilmu saraf; evolusioner, berkaitan dengan biologi evolusioner; Bayesian, berhubungan dengan statistik dan probabilitas; dan analogis yang berasal dari psikologi. Baru-baru ini, kemajuan dalam efisiensi komputasi statistik telah membuat Bayesian berhasil memajukan bidang di sejumlah area, yang disebut "machine learning". Demikian pula, kemajuan dalam komputasi jaringan telah menyebabkan koneksionis memperluas ke

subbidang yang disebut "deep learning". Machine learning (ML) dan deep learning (DL) merupakan bidang ilmu komputer yang berasal dari disiplin Kecerdasan Buatan.

Secara garis besar, teknik-teknik ini dipisahkan menjadi teknik pembelajaran yang "diawasi" yakni menggunakan data pelatihan yang mencakup keluaran yang diinginkan dan yang "tidak diawasi" yakni menggunakan data pelatihan tanpa keluaran yang diinginkan.

Kecerdasan Buatan (AI) "lebih cerdas" dan belajar lebih cepat dengan lebih banyak data, dan setiap hari, semua perusahaan menghasilkan bahan bakar ini untuk menjalankan solusi machine learning dan deep learning, baik yang dikumpulkan dan diekstraksi dari gudang data seperti Amazon Redshift, yang benar-benar akurat melalui kekuatan "klaster" dengan Mechanical Turk, maupun secara dinamis ditambah melalui Kinesis Streams. Lebih jauh, dengan munculnya IoT, teknologi sensor secara eksponensial menambah jumlah data yang akan dianalisis data dari sumber dan tempat serta objek dan peristiwa yang sebelumnya hampir tidak tersentuh.

Dalam *IoT*, hampir semua mesin atau alat dapat menjadi mesin pintar. Itu berarti IoT sangat berdampak pada seluruh aspek kehidupan kita. AI ini bertugas untuk mengumpulkan data, perancangan dan pengembangan algoritma, serta pemasangan jaringan.

2. Sensor (*Sensoring*)

Berikutnya ada sensor. Unsur ini merupakan unsur pembeda mesin IoT dengan mesin canggih lainnya. Dengan adanya sensor ini mesin mampu menentukan instrumen yang dapat mengubah mesin IoT dari yang semula bersifat pasif menjadi mesin atau alat yang bersifat aktif dan terintegrasi.

Perkembangan teknologi di dunia ini semakin hari semakin berkembang pesat. Banyak sekali bermunculan teknologi-teknologi digital yang semakin canggih. Contohnya saja IoT yang merupakan teknologi dimana berbagai perangkat bersensor saling terhubung melalui jaringan internet untuk mengumpulkan dan mentransfer data. Secara umum IoT ini memiliki beberapa komponen teknologi pendukung yang memungkinkan IoT ini dapat bekerja secara maksimal, salah satunya adalah sensor.

Sensor memiliki peranan yang penting, mereka diciptakan untuk menunjang kinerja sistem internet of things sehingga dapat bekerja secara optimal. Secara garis besar, sensor adalah alat yang dapat digunakan untuk mendeteksi sesuatu. Objek yang

dapat dideteksi dapat berupa suhu, cahaya, kecepatan, jarak, suara bahkan dapat mengukur besaran sesuatu. Seiring berkembangnya industri 4.0 di bidang teknologi, ada banyak jenis sensor IoT yang digunakan.

3. Konektivitas (*Connectivity*)

Yang terakhir adalah konektivitas. Konektivitas juga biasa disebut sebagai koneksi antar jaringan. Dalam dunia IoT sendiri ada kemungkinan untuk kita membuat jaringan baru, jaringan yang khusus digunakan untuk perangkat IoT. Sistem IoT seringkali terdiri atas ratusan atau ribuan perangkat tepi yang terhubung. Pada skala tersebut, pertimbangan desain yang tampaknya sederhana menjadi penting demi keberhasilan produk Anda. Satu keputusan desain sulit yang akan Anda buat akan menentukan bagaimana perangkat Anda terhubung ke jaringan. Berikut adalah contoh dari unsur pembangun pilihan dengan melalui unsur konektivitas dalam IoT.

- Ethernet
- Wi-Fi
- LPWAN
- Seluler Data
- Satelit dan Bluetooth

2.9.2 Manfaat IoT di Berbagai Bidang

Setelah mengetahui penjelasan dan unsur-unsur untuk membentuk suatu ekosistem IoT, sekarang kami akan menjelaskan apa saja manfaat internet of things dalam berbagai bidang.

Dalam penerapannya sendiri internet of things ini membawa banyak sekali manfaat. Selain manfaat utamanya untuk mempermudah pekerjaan manusia, internet of things juga bermanfaat dalam berbagai bidang. Berikut beberapa diantaranya:

1. Pertanian

Pertama-tama kita bahas mulai dari sektor pertanian atau agriculture. Penerapan IoT dalam sektor pertanian dapat dilakukan dengan berbagai macam cara. Salah satunya dalam urusan pengumpulan data. Data-data yang dikumpulkan dapat berupa suhu, kelembapan, curah hujan, kadar air dalam tanah, dan pemantauan hama.

Contohnya, petani dapat mengetahui data-data yang penting seperti kadar air dalam tanah dan suhu sekitar dengan sensor yang ditanamkan. Data-data yang terkumpul dapat digunakan untuk mengambil sebuah keputusan guna meningkatkan

kualitas dan kuantitas, meminimalkan risiko, dan mengurangi usaha yang diperlukan untuk mengelola pertanian.

2. Kesehatan

Selanjutnya adalah sektor medis dan kesehatan. Dalam dunia kesehatan, internet of things terus dikembangkan. Direncanakan ke depannya seluruh hasil pemeriksaan dapat langsung diterima oleh para tenaga medis atau rumah sakit. Data-data yang dikirimkan seperti halnya tekanan darah, riwayat penyakit, penyakit yang sedang dialami, dan lain-lain.

Sebenarnya, teknologi IoT saat ini sudah diterapkan dalam sektor kesehatan ini, contohnya seperti robot perawat di sebuah klinik di Moskow yang membantu tugas dari para tenaga kesehatan di masa pandemi sekarang ini.

3. Transportasi

Berikutnya adalah sektor transportasi. IoT dapat membantu manusia dalam mengintegrasikan, mengontrol, dan memproses informasi pada sistem transportasi. Penerapan internet of things ini berkembang sangat pesat dan dapat diimplementasikan pada mesin kendaraan atau pada fungsi kemudinya.

Salah satu contoh internet of things dalam bidang transportasi adalah mobil yang dapat memarkir sendiri dan mobil yang dapat berjalan sendiri (autopilot). Diharapkan dengan adanya IoT dalam sektor transportasi ini angka kecelakaan dapat jauh menurun.

4. Otomatisasi rumah

Selanjutnya dalam sektor rumah. Perangkat internet of things juga tidak hanya bisa digunakan dalam sektor-sektor usaha saja, tetapi ia juga bisa digunakan untuk keperluan pribadi. Kamu dapat membuat rumahmu menjadi serba otomatis lho, mulai dari menghidupkan lampu, menghidupkan perangkat elektronik, dan sampai membuka pintu rumah. Perangkat-perangkat itu disebut sebagai *Smart Home Peripheral* atau perangkat rumah pintar. Jika kamu menerapkan *IoT* dalam rumah, secara tidak langsung kamu sudah memiliki smart home.

Bukan hanya soal kemudahan, kamu juga dapat menghemat energi. Itu karena kamu dapat mengendalikan perangkat-perangkat pintar di rumahmu dari jarak jauh. Sehingga, otomatis tidak ada energi yang terbuang sia-sia.

Contoh *internet of things* dalam rumah adalah lampu yang dapat menyala otomatis pada malam hari, kunci pintu yang dibuka dengan sidik jari atau

dengan smartphone, tempat makan otomatis untuk hewan, alat penyiram bunga otomatis, dan masih banyak lagi.

5. Lingkungan

Yang terakhir adalah penerapan *IoT* dalam sektor lingkungan. Biasanya untuk sektor lingkungan ini menggunakan aplikasi dan perangkat *IoT* yang menggunakan sensor.

Contohnya seperti alat yang dapat memantau kualitas udara, alat yang dapat dipasangkan ke satwa liar dalam penangkaran, pengecekan kondisi air, dan lain-lain. Bahkan internet of things juga dapat dimanfaatkan untuk sistem peringatan dini bencana.

2.10 Air Sebagai Energi Terbarukan

Energi air adalah satu dari lima sumber terbesar energi terbarukan. Energi ini dapat dimanfaatkan dan diubah menjadi listrik dan pembangkit listrik Tenaga air tanpa meninggalkan emisi gas rumah kaca seperti yang dihasilkan oleh pembangkit listrik yang menggunakan energi fosil. Berbeda dengan sumber energi terbarukan lainnya air akan terus menghasilkan tenaga non-stop dan ketersediaannya terus dihasilkan oleh adanya siklus hidrologi. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dihasilkan dari energi potensial air yang diubah menjadi energi mekanik oleh turbin dan energi tersebut yang selanjutnya diubah untuk menjadi energi listrik oleh generator dengan memanfaatkan ketinggian dan kecepatan air.

Berdasarkan dari daya listrik yang dihasilkan, pembangkit listrik tenaga air dibedakan menjadi: *pico hydro* yang menghasilkan 5 kW, *micro hydro* yang menghasilkan 5-100 kW, *mini hydro* yang menghasilkan daya di atas 100 kW, namun tetap di bawah 1MW dan bendungan/ dam/ *large hydro* dengan daya yang dihasilkan sebesar lebih dari 100 MW (Rorres, 2000). Indonesia telah memanfaatkan air sebagai pembangkit listrik, salah satunya adalah PLTA Cirata, Purwakarta.

Pembangkit listrik yang telah dibangun sejak 1983 ini bukanlah pembangkit utama dalam jaringan listrik Jawa Bali, melainkan dijadikan pembangkit listrik cadangan. Apabila keseluruhan turbin yang berjumlah 8 di PLTA tersebut berfungsi, PLTA Cirata hanya mampu menyuplai sekitar 4 persen atau sekitar 1.008 MW dari beban listrik Pulau Jawa yang mancapai 23.000 MW. Selain Cirata, terdapat pula

pembangkit listrik tenaga air lainnya yang ada di Indonesia seperti PLTA Saguling, Jatiluhur dan Lamajan.

Selain menjadi pembangkit, PLTA juga bermanfaat bagi sektor pariwisata. Pemandangan alam berupa gunung, danau dan wisata kulinernya menjadi daya tarik pariwisata. Pemandangan alam tidak hanya menjadi objek wisata di kawasan bendungan Jatiluhur, terdapat pula objek pariwisata lain yang tersedia di sana seperti kolam renang dan ski air yang secara langsung menghadap ke danau.

Meskipun mendatangkan banyak manfaat, pemanfaatan air dengan membangun bendungan memiliki dampak lain seperti dapat mengganggu keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu perlu diperhatikan aspek-aspek kelingkungan serta keselamatan agar pemanfaatan bendungan dapat dilakukan secara maksimal.

2.11 Implementasi *Clean Energy* pada PLTA

Energi fosil masih menjadi tumpuan utama sejumlah negara di dunia, termasuk Indonesia. Sebenarnya, Indonesia bisa memanfaatkan beberapa sumber energi terbarukan atau energi alternatif karena dianugerahi dengan kekayaan alam begitu melimpah. Tetapi pengelolaannya belum berjalan maksimal. Meski demikian, pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk beralih dari energi fosil ke energi terbarukan.

Energi yang bersumber dari fosil seperti batu bara dan minyak bumi memiliki beberapa kekurangan dalam pemanfaatannya. Salah satu di antaranya yaitu tidak bisa diperbaharui. Artinya, di masa mendatang sumber energi tersebut akan habis. Solusi untuk mengatasi hal tersebut yakni dengan mulai beralih pada sumber energi alternatif.

Jenis energi alternatif ini bisa dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Contoh energi alternatif paling sederhana seperti cahaya matahari, air, angin, dan lainnya. Seperti pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan menggunakan turbin jenis *Archimedes Screw* (ulir) yang dimana merupakan jenis turbin air yang baru diteliti dalam satu dekade ini, dengan mengadopsi dari teori *Archimedean screw* dimana salah satu akan keunggulan turbin ini antara lain dapat beroperasi pada *head* rendah ($H < 10$ m), tidak membutuhkan pipa pesat, mudah dalam pemasangan, mudah dalam perawatan dan tidak merusak ekologi sungai atau fish-friendly (Okot, 2013).

Dari penjelasan di atas dapat diambil pengertian bahwa dengan penggunaan jenis turbin ulir pada PLTA itu sendiri, maka hal ini tidak akan merusak ekologi sungai atau *fish-friendly* yang merupakan suatu sikap dan kesadaran dari peneliti dalam mengimplementasikan *Green Energy Initiative* atau *Clean Energy* yakni mendorong energy itu sendiri menjadi bersifat energi terbarukan, efisiensi dalam energi yang bisa dimanfaatkan serta energi bersih yang bebas dari polutan.