

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Studi Sebelumnya**

Untuk dapat terselesainya laporan skripsi ini penulis membutuhkan beberapa jurnal dari peneliti terdahulu sebagai penunjang yang suatu saat digunakan sebagai referensi dan literatur dalam pembuatan alat.

Tarsisius k, “pengembangan governor elektrik berbasis arduino sebagai sistem kontrol turbin air screw” *elkomika: jurnal teknik energi elektrik, teknik telekomunikasi, & teknik elektronika*, september 2020. sebuah sistem kontrol yang dapat menjaga putaran turbin pada kisaran 30 rpm dan putaran generator pada kisaran 1500 rpm. Pada paper ini dikaji pengembangan sistem kontrol turbin air tipe screw, menggunakan governor elektrik. Perangkat governor elektrik ini berbasis Arduino, yaitu Arduino Mega 2560 dan Arduino Uno yang dilengkapi sensor putaran, dan motor listrik sebagai aktuator yang menggerakkan sebuah pintu air untuk mengatur bukaan bucket.[4]

Erдын Setyo W, Mochammad Rif’an, Teguh Utomo, “Perancangan electronic load controller (elc) sebagai penstabil frekuensi pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro (pltmh)”, 4.2 (2018), 0–5 menjaga stabilitas dan ketahanan sistem pembangkit akibat berbagai perubahan yang terjadi pada sisi beban. Perancangan ini bertujuan untuk merancang electronic load controller sebagai penstabil frekuensi pada PLTMH.[5]

Fauziah, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Dengan Turbin Cross Flow Menggunakan Generator Dc Magnet Permanen”, 2017, 6–12 mengkonversi aliran air menjadi energi listrik diperlukan generator yang terhubung dengan turbin yang disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Untuk memperoleh daya yang besar dipilih generator DC magnet permanen dan turbin cross flow.[6]

Zulfahmi Lubis, “Rancang Bangun Sistem Kendali Arah Aliran Air (Guide Vane) pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro”, 2017 membuat pengendali guide vane yang akan bekerja secara otomatis sesuai dengan kondisi beban. Sistem pengendali yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan membaca putaran turbin, kemudian membandingkannya dengan nilai set point dan dilanjutkan dengan pemberian perintah oleh mikrokontroler arduino uno untuk menggerakkan aktuator servo yang akan mengatur sudut pergerakan guide vane.[7]

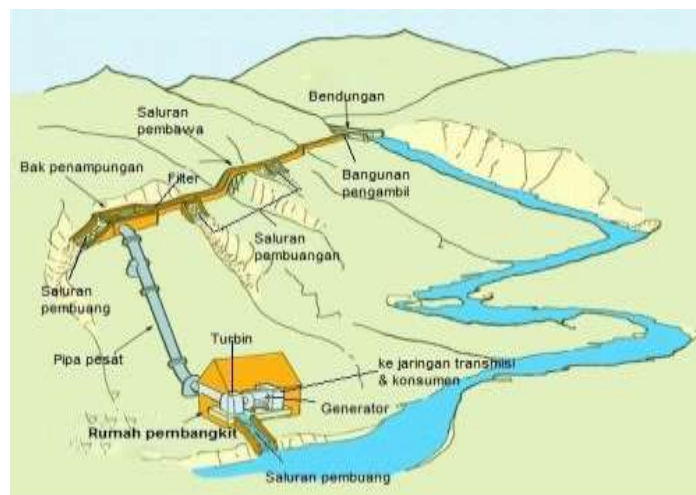
Miftachul U, “Desain Pengatur Beban Elektronik Menggunakan Kontrol Sudut Penyalaan (*firing angle*) pada Generator Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)”, 8.2 (2015), 108–20 sistem kontrol pembagi beban elektronik menggunakan kontrol sudut penyalaan pada generator pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, agar beban dari generator dalam hal ini adalah beban konsumen tidak mengalami kerusakan dengan menggunakan mikrokontroler ATmega 16. Pengendalian beban dimaksudkan untuk menjaga kestabilan energi listrik yang dihasilkan oleh generator.[8]

Dari kajian di atas saya menggunakan metode dari hasil putaran turbin untuk menggerakkan motor servo, menggunakan turbin *cross flow*, dan menyetabilkan

frekuensi daya *output* pada saat beban yang berubah-ubah dan menambahkan relay sebagai *swits* untuk memindahkan arus dari PLTMH ke PLN pada saat debit air berkurang atau melemahnya putaran turbin.

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)



Gambar 2.1. Sistem PLTMH sederhana[8]

Pembangkit listrik mikrohidro merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi air sebagai sumber tenaganya. Kondisi air yang dapat digunakan sebagai sumber penghasil listrik adalah yang memiliki kapasitas dan ketinggian aliran tertentu. Pembangkit listrik ini dapat menggunakan tenaga air dengan memanfaatkan ketinggian jatuhan / head (dalam meter) dan besarnya debit air ( $m^3$ / detik). Semakin besar kapasitas aliran dan ketinggian instalasi, semakin besar pula energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik.[8]

Menghitung daya potensial mengenai pedoman teknik pembangkit listrik tenaga air menjelaskan bahwa perhitungan dapat dilakukan berdasarkan debit andalan dan net-head.

Potensi daya air dapat dinyatakan pada persamaan :

$$P_g = 9,8 \cdot \rho \cdot Q \cdot h \quad (2.1)$$

Di mana:

- $P_g$  = potensi daya (kW)  
 $\rho$  = massa jenis air ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )  
 $Q$  = laju/debit aliran air ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )  
 $h$  = head (tinggi terjunan air) (m)  
 9,8 = konstanta gravitasi ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

Daya teoritis PLTMH di atas, akan berkurang setelah melalui turbin dan generator, yang dirumuskan dengan persamaan:

$$P_{eff} = 9,8 \cdot Eff_T \cdot Eff_G \cdot \rho \cdot Q \cdot h \quad (2.2)$$

Di mana:

- $P_{eff}$  = daya listrik yang keluar dari generator (kW)  
 $Eff_T$  = Efisiensi turbin antara (0,8 s/d 0,95)  
 $Eff_G$  = Efisiensi generator (0,8 s/d 0,95)

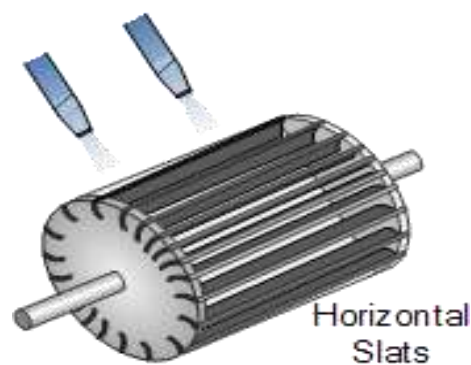
#### Prinsip Kerja PLTMH

Air yang mengalir dengan kapasitas dan ketinggian tertentu dialirkan ke rumah instalasi (rumah turbin). Pada rumah turbin instalasi air akan menghantam turbin, dalam hal ini turbin tentunya akan menerima energi air dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin. Poros yang berputar kemudian dikirim ke generator dengan menggunakan kopling. Dari generator akan dihasilkan energi listrik yang akan masuk ke dalam sistem kendali arus listrik sebelum disalurkan ke rumah-rumah atau kebutuhan lain

(beban). Itulah singkatnya proses mikrohidro, mengubah aliran energi dan ketinggian air menjadi energi listrik.[8]

### 2.2.2. Turbin Air

Turbin air merupakan generator awal yang memanfaatkan energi potensial air menjadi energi mekanik dimana air memutar roda turbin. Air yang berada pada ketinggian tertentu memiliki energi potensial. Ketika air mengalir ke tempat yang lebih rendah, energi potensial berubah menjadi energi kinetik. Dengan turbin air, energi kinetik diubah menjadi energi mekanik. dalam bentuk poros yang berputar. Putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik. Secara garis besar suatu turbin air terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Rotor adalah bagian-bagian dari suatu turbin yang bergerak atau berputar seperti roda turbin, poros, kopling, roda gila, katrol dan bagian lain yang dipasang pada poros atau roda turbin. Stator adalah bagian-bagian dari suatu turbin air yang bersifat stasioner, seperti inlet, housing, shaft bearing, blade antara, knalpot dan lain-lain.[6]



Gambar 2.2 Turbin Air[6]

Gambar turbin air dapat dilihat pada Gambar 2.2.2. Ini adalah turbin air tipe aliran silang dengan kecepatan spesifik turbin 70 hingga 80.

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu tabung impuls dan turbin reaksi.

Tabel 2.1 Pengelompokan Turbin

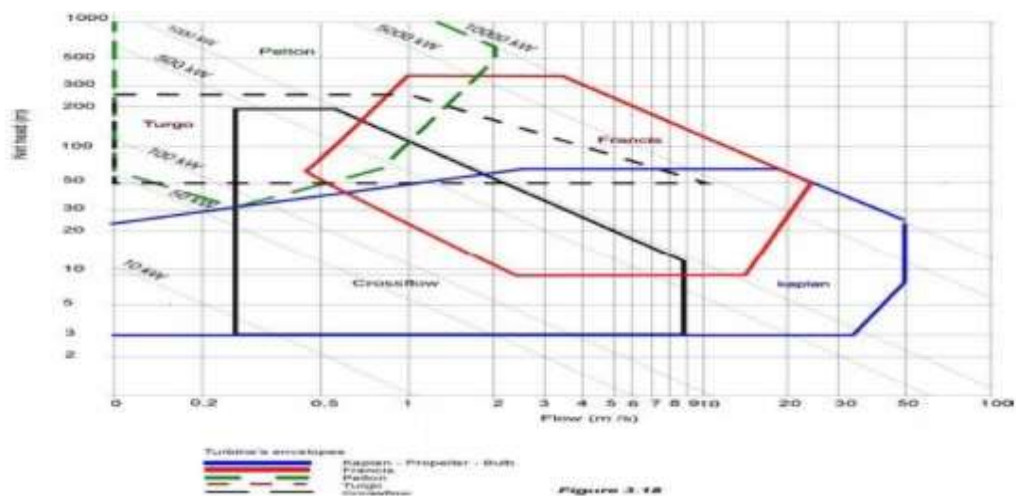
<i>Turbin Runner</i>	<i>Head Pressure</i>		
	<i>High</i>	<i>Medium</i>	<i>Low</i>
<i>Impuls</i>	<i>Pelton</i>	<i>Cross-flow</i>	<i>Cross-flow</i>
	<i>Turgo</i>	<i>Turgo</i>	
	<i>Multi Jet Pelton</i>	<i>Multi Jet Pelton</i>	
<i>Reaction</i>	<i>Francis</i>		<i>Propeller</i>
	<i>Pupm as Turbin</i>		<i>Kaplan</i>

Berdasarkan Tabel 2.1 klasifikasi turbin dapat dilihat berdasarkan prinsip kerja turbin. Turbin aliran silang merupakan turbin yang sangat efektif untuk digunakan pada laju dan aliran aliran yang rendah serta sangat sederhana dalam pembuatannya.[6]

### 2.2.3. Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

Ada beberapa faktor yang mendasari perencanaan dan pemilihan turbin air. Faktor utama meliputi: laju aliran air, head atau ketinggian air yang

jatuh, kecepatan spesifik, putaran turbin, posisi poros turbin, biaya konstruksi instalasi. Dari sekian banyak faktor di atas, yang paling menentukan adalah debit dan head aliran air. Ukuran atau dimensi turbin air sangat bergantung pada laju aliran dan head air. Aliran air yang besar pada head tertentu akan membutuhkan turbin air yang besar, sedangkan untuk water head yang besar pada aliran tertentu dimensi turbin air cenderung lebih kecil. Dengan demikian debit dan head air secara tidak langsung akan menentukan biaya pembuatan turbin air dan generatornya.[6]



Gambar 2.3 Karakteristik Turbin[6]

Gambar 2.3 merupakan penjelasan karakteristik turbin berdasarkan kecepatan aliran air, ketinggian (head) dan daya yang dihasilkan. Semakin besar kecepatan aliran air dan semakin tinggi water head maka semakin besar daya yang dihasilkan.

Selain itu laju aliran dan head air serta jumlah putaran sudu yang digerakkan juga akan mempengaruhi penentuan putaran turbin serta kecepatan spesifiknya. Sedangkan kecepatan spesifiknya sendiri juga akan

menentukan jenis turbin yang digunakan. Begitu juga dengan flow rate dan water head juga akan menentukan posisi turbin, dimana turbin dengan aliran air yang besar biasanya memiliki poros vertikal.

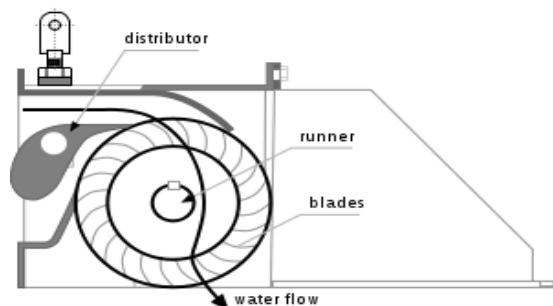
Ada beberapa faktor yang menentukan pemilihan laju aliran dan kepala air yang direncanakan untuk pemilihan turbin. Penentuan potensi sumber air dan kondisi lahan atau topografi di sekitar lokasi dan kapasitas listrik yang dibutuhkan, serta kemampuan finansial yang dibutuhkan untuk membangun instalasi. Kita mengetahui tinggi total air yang jatuh (head kotor =  $H$ ) dan tinggi air terjun efektif (head efektif =  $H_{ef}$ ). Head total ini adalah selisih ketinggian antara permukaan antara head race dan tail race, sedangkan head efektif adalah ketinggian jatuhnya air total dikurangi hilangnya tinggi tekan akibat gesekan pada pipa cepat dan peralatan lainnya. Pemilihan awal dari jenis turbin yang cocok untuk aplikasi tertentu dilakukan dengan menggunakan kecepatan tertentu.[6]

#### **2.2.4. Turbin Air Cross Flow**

Salah satu jenis turbin ini juga dikenal dengan nama *Michell-Banki* Turbine yang merupakan penemunya. Selain itu disebut juga *Osberger* Turbine yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin *Cross Flow*. Turbin *Cross Flow* dapat dioperasikan dengan laju aliran  $0,2 \text{ m}^3 / \text{detik}$  hingga  $10 \text{ m}^3 / \text{detik}$  dan *head* antara 1 hingga 200 m. Sebagai turbin aliran radial atmosferik, yang berarti bekerja pada tekanan atmosfer, turbin *Cross Flow* menghasilkan tenaga dengan mengubah energi menjadi kecepatan semburan



air. Dilihat dari karakteristik kecepatan spesifiknya, turbin ini berada di antara turbin *Pelton* dan turbin aliran campuran *Francis*. Turbin aliran silang (*Cross Flow*) terdiri dari dua bagian utama yaitu nosel dan *runner*. Dua cakram paralel disatukan dalam keliling oleh sejumlah bilah untuk membentuk konstruksi yang disebut *runner*. Nosel berpenampang persegi, mengeluarkan semburan air selebar pelari dan masuk dengan sudut  $16^\circ$  ke garis singgung lingkaran luar *runner*. Bentuk baloknya persegi, lebar dan tidak terlalu tebal. Air masuk ke bilah di tepi *runner*, mengalir di atasnya, keluar, memotong melalui ruang kosong antara bagian dalam *rim*, masuk ke bilah di bagian dalam *rim* dan akhirnya keluar dari *runner*. [7]



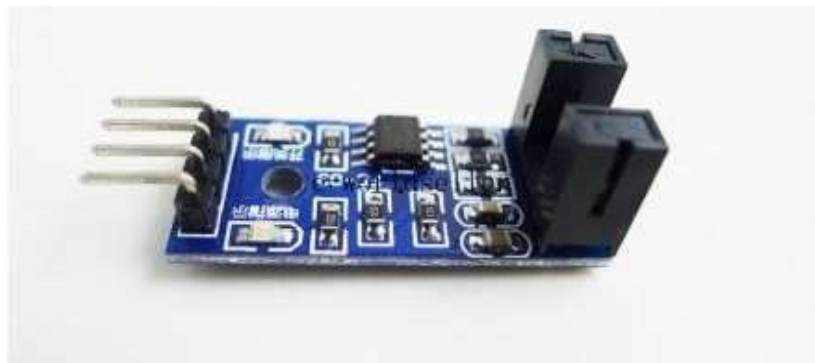
Gambar 2.4 Turbin *Cross Flow* [7]

Gambar 2.4 merupakan turbin air tipe *Cross Flow* dimana terdapat 3 komponen yaitu *distributor*, *runner* dan *blades*. Ada dua jenis turbin aliran silang, yaitu tipe-1 (*Cross Flow* kecepatan rendah) dan tipe-3 (*Cross Flow* kecepatan tinggi).

### 2.2.5 Sensor *Rotary Encoder*

Sensor adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah besaran mekanis menjadi besaran listrik. Sensor yang akan digunakan pada sistem pengendali arah aliran air pada PLTMH adalah berjenis sensor *rotary encoder*.

Sensor akan berfungsi sebagai pembaca nilai putaran turbin dengan mengubah nilai serial pulsa yang dihasilkan oleh cakram *encoder* menjadi kode digital. Hasil pembacaan sensor akan digunakan sebagai input komparatif dalam pengaturan gerak baling-baling pemandu. Sensitivitas sensor sangat penting dalam memberikan logika pergerakan *guide vane*, sehingga diperlukan sensor yang memiliki respon yang cepat dan akurat.[7]



Gambar 2.5 Sensor *rotary encoder* [7]

### 2.2.6 Relay

Relay merupakan suatu keluaran yang dapat digunakan sebagai saklar untuk perangkat lain. Relai dikendalikan oleh tegangan dari pin arduino sehingga dapat melakukan perpindahan. Ada 3 koneksi utama yaitu

COM untuk input dari perangkat lain. NC (*Normaly Close*) dalam keadaan normal com akan dihubungkan ke pin NC.



Gambar 2.6 relay

fungsi dasar sebuah relay adalah sebagai berikut.

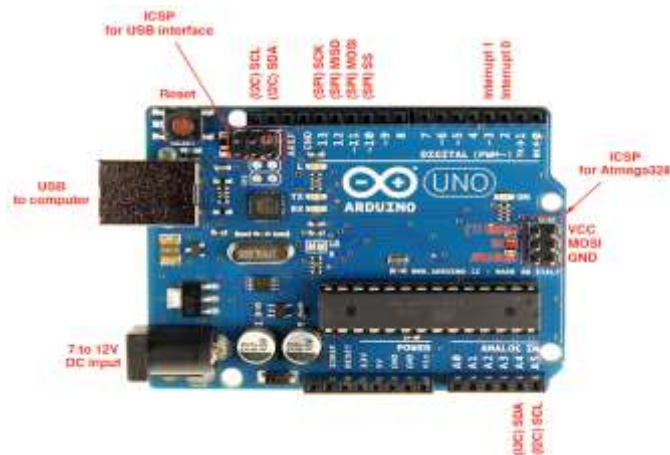
- a) Biasanya komponen ini digunakan untuk menjalankan Fungsi Logika (Logic Function) pada sebuah rangkaian kelistrikan.
- b) Kemudian relay juga biasanya digunakan untuk memberikan fungsi penundaan waktu pada sebuah rangkaian kelistrikan atau bisa di sebut juga Time Delay Function.
- c) Selain itu, keberadaan relay juga biasanya di gunakan untuk mengendalikan sebuah sirkuit tegangan tinggi dengan bantuan dari signal tegangan rendah seperti yang kami utarakan diatas.
- d) Serta ada pula relay yang difungsikan sebagai pelindung motor, mobil dan juga komponen lainnya dari kelebihan tegangan aliran arus listrik ataupun sebagai pengaman arus listrik dari hubung singkat (konsleting) atau short.

### 2.2.7 Arduino Uno



Gambar 2.7 Arduino Uno R3[7]

Board Arduino uno merupakan Papan Mikrokontroler (Development Board) menggunakan chip mikrokontroler ATmega328 yang flexible dan open source, software dan hardware nya relatif mudah digunakan sehingga banyak digunakan oleh pemula hingga ahli. Untuk dapat menggunakan papan Arduino Uno yang dihubungkan ke komputer menggunakan kabel USB atau dengan adaptor DC 7-12 V atau Power Supply. Arduino Uno dapat digunakan untuk mendeteksi lingkungan dengan membaca data dari berbagai sensor, seperti jarak, inframerah, suhu, cahaya, ultrasonik, tekanan, kelembaban, dll. Secara garis besar, Arduino memiliki 14 pin digital yang dapat diatur sebagai Input atau Output dan 6 pin input analog. Untuk lebih jelasnya spesifikasi Arduino Uno bisa dilihat dibawah ini:[7]



Gambar 2.8 Pin Arduino Uno [7]

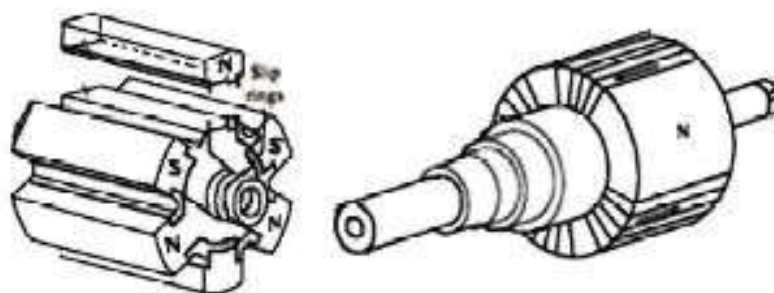
Pin digital Arduino uno memiliki 14 pin yang dapat dipakai sebagai Input atau Output dan 6 pin Analog berlabel A0 hingga A5 sebagai ADC, masing-masing Pin Analog memiliki resolusi 10 bit.

Ada beberapa pin yang memiliki fungsi khusus:

1. Serial : Pin 0 (RX) dan Pin 1 (TX) dapat di gunakan untuk Mengirim (Tx) dan Menerima (Rx) TTL data serial
2. External Interrupts : INT0 adalah Pin 2 dan INT1 adalah Pin 3
3. PWM : 3, 5, 6, 9, 10, and 11.menyediakan output PWM 8 bit
4. SPI : 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan SPI Library
5. LED : 13. Buit-in LED terhubung dengan Pin Digital 13
6. I2C : A4 adalah pin SDA dan A5 adalah pin SCL. Komunikasi I2C menggunakan Wire library.

### 2.2.8 Generator Sinkron

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. Sedangkan generator salient-pole biasanya digunakan untuk pembangkit listrik kecil dan menengah.[9]



Gambar 2.9 *Salient-Pole Rotor Dan Cylindrical-Rotor*[9]

Pada generator sinkron, arus searah mengalir ke kumparan rotor yang kemudian menghasilkan medan magnet rotor. Rotor dari generator akan

diputar oleh penggerak utama, menghasilkan medan magnet yang berputar pada mesin. Di dalam generator stator juga terdapat kumparan. Medan magnet yang berputar menyebabkan medan magnet yang mengelilingi kumparan stator terus berubah. Perubahan medan magnet yang terus menerus ini menginduksi tegangan pada kumparan stator. Tegangan yang diinduksi ini akan berbentuk sinusoidal dan besarnya bergantung pada kekuatan medan magnet dan kecepatan putaran rotor. Untuk membuat generator tiga fasa, pada stator ditempatkan tiga kumparan yang berjarak  $120^\circ$  satu sama lain, sehingga tegangan yang diinduksi akan terpisah  $120^\circ$  satu sama lain juga.[9]

### **2.2.9 Komponen Generator Sinkron**

Secara umum terdapat dua komponen utama penyusun generator sinkron yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian dari generator sinkron yang diam, di mana tegangan induksi dibangkitkan. Sedangkan rotor merupakan bagian generator sinkron yang menggerakkan dan mengalirkan arus searah pada kumparan. Pada stator terdapat beberapa komponen utama yaitu:

➤ **Rangka Stator**

Rangka luar yang biasanya terbuat dari baja berfungsi untuk menopang struktur stator dan mempunyai kaki-kaki yang menempel pada pondasi. Rangka stator dibuat kokoh untuk menahan perubahan beban mendadak atau gangguan di tiga fasa.

➤ Inti Stator

Inti stator menyediakan jalur pembatas tinggi untuk proses magnetisasi. Inti stator dilaminasi untuk mengurangi kerugian arus, *eddy current* dan juga rugi histeresis. Bahan non-magnet atau penggunaan pelindung fluks yang terbuat dari tembaga juga digunakan untuk mengurangi *stray loss*.

➤ Slot

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

➤ Kumparan Stator

Kumparan stator merupakan tempat terbentuknya tegangan induksi pada generator dan di rancang untuk menghasilkan 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* adalah cincin logam yang melingkari poros rotor, tapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Bagian ini merupakan bagian yang terhubung dengan sumber arus searah yang untuk selanjutnya dialirkan ke kumparan rotor.

➤ Kumparan rotor

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



➤ Poros

Poros adalah tempat untuk meletakkan kumparan rotor dan merupakan bagian yang terkopel dengan dan diputar oleh *prime mover*. [9]

### 2.2.10 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Prinsip kerja generator sinkron dapat dijelaskan dengan menggunakan dua aturan sederhana. Aturan pertama untuk rangkaian magnetik dan aturan yang kedua untuk tegangan yang diinduksi pada sebuah konduktor yang disebabkan karena variasi medan magnet. Fluks  $\psi$  dalam rangkaian magnet yang mempunyai reluktansi  $R_m$  dihasilkan karena adanya *magnetomotive force* (*mmf*)  $F_m$ , dimana *mmf* itu sendiri berasal dari adanya arus  $I$  yang mengalir melalui kumparan berjumlah  $N$ . [9]

$$\psi = F_m / R_m \quad (2.3)$$

Dan,

$$F_m = IN$$

Dimana :

$\psi$  = fluks

$R_m$  = reluktansi

$F_m$  = magnetomotive forc

$I$  = arus

$N$  = jumlah lilitan

### 2.2.11 Pemilihan Generator

Generator merupakan suatu alat yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Jenis generator yang digunakan pada PLTMH dapat berupa :

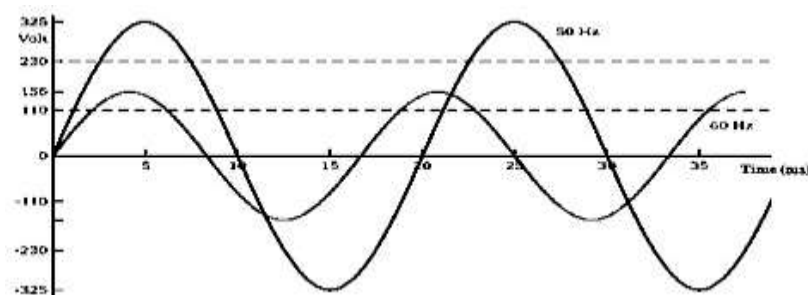
- Generator sinkron, sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) dengan penggunaan dua bantalan (*two bearing*).
- Motor induksi sebagai Generator (IMAG) sumbu vertikal, pada perencanaan turbin propeller *open flume*.

Tabel 2.2 Putaran Generator Sinkron (rpm)

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

### 2.2.13 Kestabilan Frekuensi

Frekuensi sebenarnya merupakan karakteristik dari tegangan yang dibangkitkan oleh generator. Perusahaan Listrik Negara (PLN) telah mengatur kualitas mengenai toleransi tegangan (tegangan nominal +5%, -10% dan toleransi frekuensi (frekuensi nominal 1%), sedangkan situasi menyangkut ketersediaan pasokan listrik secara terus-menerus dan tidak ada gangguan.[9]



Gambar 2.10 Frekuensi Listrik pada frekuensi 50 Hz dan 60 Hz [9]

parameter listrik dalam keadaan *steady state* yang diterima oleh konsumen adalah:

#### 1. Variasi tegangan

Dalam sistem penyediaan tenaga listrik secara umum, variasi tegangan di titik suplai yang diijinkan adalah +5% dan -10% (standar PLN) sedangkan dalam *ANSI C.84-1* diijinkan -10% dan +4% dalam kondisi normal, sedang dalam kondisi tertentu diijinkan -13% dan +6%.

#### 2. Variasi Frekuensi

Merupakan deviasi frekuensi dasar sistem tenaga dari harga nominalnya. Variasi frekuensi tidak diatur dalam bentuk standar tetapi lebih banyak diatur dalam bentuk petunjuk operasi.

Untuk sistem tenaga listrik interkoneksi Jawa-Madura-Bali diusahakan variasi frekuensi  $\pm 0,5\%$ , sedangkan daerah lainnya diusahakan tidak lebih dari  $\pm 1,5\%$ . (standard PLN).

sehingga dapat dikatakan frekuensi 50 Hz, artinya tegangan yang dibangkitkan oleh suatu generator bervariasi nilainya terhadap waktu, nilainya berubah secara berulang-ulang sebanyak 50 siklus perdetik. Generator sinkron dalam PLTMH menggunakan frekuensi yang sama dengan sistem tenaga listrik di Indonesia, yaitu  $\pm 50\text{Hz}$ . Hal ini dikarenakan pabrik generator maupun turbin tentunya mempunyai batasan dan tentunya setelah para produsen bereksperimen puluhan tahun dengan mempertimbangkan semua sudut teknis maka dibuatlah standar yang 50 Hz dan 60 Hz itu, yg tentunya dinilai cukup efektif untuk kestabilan beban dan efisiensi dari keduanya, sisi teknis maupun ekonomis. Eropa menggunakan 50 Hz dan Amerika menggunakan 60 Hz. Setelah standarisasi, semua peralatan listrik dirancang untuk memenuhi ketentuan setiap pengurangan nilai tegangan listrik ini.[10]

Frekuensi dan tegangan yang dihasilkan generator sangat dipengaruhi oleh kecepatan putar generator. Sedangkan kecepatan putar generator dipengaruhi oleh beban. Pada malam hari (diatas jam 11) 90% rumah mematikan lampu, sehingga beban mikrohidro berkurang. Hal ini akan mengakibatkan roda gerak berputar lebih cepat. Akibatnya frekuensi listrik akan meningkat dan bila terlalu tinggi akan merusak perangkat elektronik yang digunakan di rumah. [9]

posisi sudut serta fase dari suatu lingkaran didapati dengan persamaan yaitu

$$\mathbf{s} = \boldsymbol{\theta} \times \mathbf{r}$$

dimana  $s$  adalah vektor keliling dari lingkaran,  $\theta$  adalah vektor fase lingkaran, serta  $r$  adalah vektor jari-jari. Apabila kita turunkan persamaan ini terhadap variabel waktu  $t$  maka akan kita peroleh

$$\frac{d\mathbf{s}}{dt} = \frac{d}{dt}(\boldsymbol{\theta} \times \mathbf{r})$$

$$\mathbf{v} = \frac{d\boldsymbol{\theta}}{dt} \times \mathbf{r} + \boldsymbol{\theta} \times \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

Pada ruas kiri, turunan vektor jarak terhadap waktu akan menghasilkan kecepatan linier  $v$ , sedangkan pada ruas kanan, kita peroleh dua suku dari hasil turunan berantai. Pada suku pertama, perubahan fase terhadap waktu ( $d\theta/dt$ ) didefinisikan sebagai kecepatan sudut  $\omega$ , sedangkan pada suku kedua, apabila perubahan jari-jari terhadap waktu ( $dr/dt$ ) tidak nol, maka lintasan partikel akan berbentuk spiral. Karena kita hanya tertarik pada lingkaran, maka kita akan menganggap nilai ini adalah nol, sehingga kita peroleh

$$\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}$$

Persamaan ini merupakan hubungan antara kecepatan linier dengan kecepatan sudut, dimana kecepatan sudut memiliki satuan radian per detik (rad/s). Persamaan ini pada dasarnya identik dengan persamaan  $s = \theta \times r$ , hanya saja dalam konteks kecepatan, namun orientasi arahnya tetap sama.

vektor  $\omega$  yang mengarah ke atas menandakan bahwa vektor tersebut mengarah berlawanan jarum jam, sedangkan apabila ke arah bawah, maka vektor tersebut searah jarum jam. Ini adalah salah satu cara representasi dari gerak melingkar, walaupun secara visual tidak ada benda yang gerakannya benar-benar ke arah atas.

Dengan menganggap kecepatan sudutnya tetap, tentu saja kita dapat memecahkan persamaan terakhir menjadi

$$d\mathbf{s} = (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) dt$$

$$\int d\mathbf{s} = \int (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) dt$$

Kita akan mengintegrasikan persamaan diatas, dimana jarak pada  $ds$  adalah jarak dari titik awal 0 hingga keliling lintasan penuh (karena lingkaran memiliki keliling  $2\pi r$ , sedangkan pada ruas kanan secara otomatis memiliki batas bawah 0 dan batas atas  $T$ , atau waktu yang dibutuhkan partikel untuk mencapai satu lingkaran penuh, atau bisa kita sebut sebagai periode. Kita juga akan mengasumsikan bahwa ketiga vektor diatas saling tegak lurus, sehingga kita tidak perlu memperhatikan bentuk vektornya lagi, dan

$$\int_0^{2\pi r} ds = \omega r \int_0^T dt$$

$$2\pi = \omega T$$

sehingga

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

ingat bahwa frekuensi  $f = 1/T$ , sehingga

$$\omega = 2\pi f$$

Persamaan ini adalah hubungan antara frekuensi dengan kecepatan sudut. Sehingga dengan ini dapat kita katakan bahwa kecepatan sudut pada dasarnya merupakan bentuk lain dari frekuensi. Misal, apabila suatu partikel berputar dengan frekuensi 1 Hz, maka dapat kita terjemahkan dalam kecepatan sudut yaitu sebesar  $2\pi$  radian per detik, artinya dalam satu detik partikel tersebut akan berputar sebesar  $2\pi$  radian, yang merepresentasikan putaran penuh  $360^\circ$  (ingat bahwa  $360^\circ = 2\pi$  radian).