



**ANALISIS KETIDAKSTABILAN TEGANGAN DAN  
FREKUENSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA MIKROHIDRO  
(STUDI KASUS PLTMH SOKOKEMBANG  
KABUPATEN PEKALONGAN)**

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana  
Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

**Oleh**

**Nurul Dyah Pratiwi**

**NIM.5301415046**

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2020**

## **PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Nama : Nurul Dyah Pratiwi

NIM : 5301415046


Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

Judul : Analisis Ketidakstabilan Tegangan dan Frekuensi Pada  
Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Studi Kasus PLTMH  
Sokokembang Kabupaten Pekalongan)

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian  
Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas  
Negeri Semarang

Semarang, 3 November 2019

Pembimbing



Drs. Isdiyarto, M.Pd  
NIP. 195706051986011001

## PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Analisis Ketidakstabilan Tegangan Dan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Studi Kasus PLTMH Sokokembang Kabupaten Pekalongan)” telah dipertahankan didepan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 26 Desember 2019

Oleh:

Nama : Nurul Dyah Pratiwi

NIM : 5301415046

Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

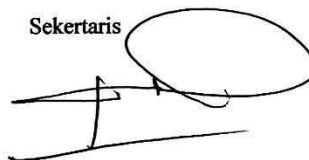
Panitia:

Ketua



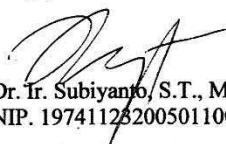
Ir. Ulfah Mediaty Arief, M.T., IPM.  
NIP.196605051998022001

Sekretaris



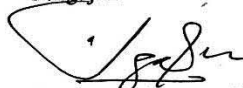
Drs. Ir. Sri Sukamta, M.Si., IPM.  
NIP. 196505081991031003

Penguji 1



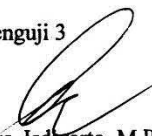
Dr. Ir. Subiyanto, S.T., M.T.  
NIP. 197411282005011001

Penguji 2



Drs. Agus Murnomo, M.T.  
NIP. 195506061986031002

Penguji 3



Drs. Isdhyarto, M.Pd.  
NIP. 195706051986011001

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nanang Qudus, M.T., IPM.  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, megister, dan / atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun diperguruan tinggi lain.
2. Skripsi ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan pembimbing dan masukan tim penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebtkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini

Semarang, 3 November 2019  
Yang membuat prnyataan



Nurul Dyah Pratiwi  
NIM. 5301415046

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### **Motto:**

- ❖ “Sebab sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”. (QS. Al-Insyirah: 5)
- ❖ “Today is hard, tomorrow will be worse, but the day after tomorrow will be sunshine”. (Jack Ma)
- ❖ “Ingatlah Allah SWT selalu memberikan kelebihan dibalik kekurangan, Allah SWT selalu memberikan kekuatan dibalik kelemahan”. (Penulis)

### **Persembahan:**

Dengan mengucapkan syukur kehadiran Allah SWT, kupersembahkan skripsi ini untuk:

- ❖ Orang tua tercinta, ibu (Dedeh Mulyati) dan bapak (Sri Murtono) atas segala doa, dukungan moral dan moril yang tak pernah lelah dan terhenti.
- ❖ Kedua kakak kandungku, mas Taufik dan mas Imam yang selalu memberikan motivasi dan semangat.
- ❖ Keponakan, dek farij, yang selalu menjadi penyemangat dan penghibur disaat lelah
- ❖ Sahabat tercinta Atika, Bella, dan Agis, yang selalu mendengarkan keluh kesahku dan memberikan semangat.
- ❖ Teman-teman Pendidikan Teknik Elektro 2015, khususnya ROMBEL 3

## RINGKASAN

Nurul Dyah Pratiwi. 2019. Analisis Ketidakstabilan Tegangan dan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Studi Kasus PLTMH Sokokembang Kabupaten Pekalongan). Drs. Isdiyarto, M.Pd. Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

PLTMH skala kecil menggunakan generator sinkron yang harganya lebih murah, konstruksi kuat dan sederhana, mudah pengoperasian dan perawatannya. Ketika generator sinkron diberi beban yang berubah-ubah, maka besarnya tegangan akan berubah-ubah pula. Hal ini mengakibatkan ketidakstabilan pada tegangan dan frekuensi. Penelitian ini dilakukan guna menganalisis ketidakstabilan tegangan dan frekuensi pada PLTMH, apabila terjadi hilangnya beban ataupun gangguan yang terjadi.

Penelitian ini menggunakan tipe penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif di desa Sokokembang Kecamatan Petungkriyono Kabupaten Pekalongan Jawa Tengah. Penelitian ini memberikan gambaran dan keterangan permasalahan tentang ketidakstabilan tegangan dan frekuensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Adapun analisis yang dilakukan adalah analisis daya potensial air pada PLTMH, efisiensi total, analisis beban harian, dan analisis ketidakstabilan tegangan dan frekuensi.

Hasil penelitian ini adalah nilai ketidaksatbilan tegangan/frekuensi tertinggi dan terendah, yaitu 235 volt/51 Hz dan 160 volt/44 Hz, karena pengaruh perubahan arus beban. Dimana dapat mempengaruhi kecepatan putaran generator berubah-ubah, yang mengakibatkan tegangan dan frekuensi yang dihasilkan generator tidak stabil. Solusinya yaitu menambahkan daya air guna memutar poros turbin dan generator menjadi lebih kencang, sehingga dapat memperkecil nilai penurunan daya listrik oleh rugi-rugi pada turbin dan generator. Daya listrik yang besar dapat menaikkan tegangan dan frekuensi tanpa harus mengatur beban, serta perlu adanya perbaikan sistem ELC guna mendapatkan nilai kestabilan tegangan dan frekuensi yang lebih efektif.

**Kata Kunci :** *PLTMH, Tegangan, Frekuensi*

## **PRAKATA**

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang Berjudul Analisis Ketidakstabilan Tegangan Dan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Studi Kasus PLTMH Sokokembang Kabupaten Pekalongan). Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro Univeritas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah mudahan kita semua mendapatkan safaat Nya di yaumil akhir nanti, Aamiin. Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Sri Murtono dan Dra. Dedeh Mulyati, kedua orang tua yang telah menyayangi penulis dengan dukungan moral dan moril sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M. Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Nur Qudus, M.T, Dekan Fakultas Teknik, Ir. Ulfah Mediaty Arief, M.T. IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Elektro atas fasilitas yang telah disediakan bagi mahasiswa.

4. Drs. Isdiyarto, M.Pd., Dosen Pembimbing yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.
5. Dr. Ir. Subiyanto, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I dan Drs. Agus Murnomo, M.T., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pernyataan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
6. Sohari, operator PLTMH yang telah memberikan ilmu dan arahan dalam pengambilan data di PLTMH SokoKembang Kabupaten Pekalongan.
7. Semua dosen jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UNNES yang telah memberikan bekan pengetahuan yang berharga.
8. Atika, Bella, Agis selaku sahabat yang selalu mendengarkan keluhan dan memberikan semangat
9. Teman-teman Rombel 3 PTE 2015 yang selalu memberikan semangat dan candaan setiap saat
10. Berbagai pihak yang telah memberikan bantuan yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis harap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk lembaga pendidikan pengembangan dan masyarakat.

Semarang, 3 November 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
RINGKASAN .....	vi
PRAKATA .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah .....	5
1.5 Tujuan Penelitian .....	5
1.6 Manfaat Penelitian .....	5
1.7 Penegasan Istilah.....	6
1.8 Sistematika Penulisan .....	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	10

2.1 Kajian Pustaka.....	10
2.2 Sumber Daya Air.....	13
2.3 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.....	15
2.4 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro .....	16
2.5 Sistem Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro .....	45
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>52</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	52
3.2 Desain Penelitian .....	52
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	55
3.4 Parameter Penelitian .....	55
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	57
3.6 Kalibrasi Instrumen.....	58
3.7 Teknik Analisis Data.....	59
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>64</b>
4.1 Hasil Penelitian .....	64
4.2 Pembahasan.....	94
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>102</b>
5.1 Simpulan .....	102
5.2 Saran.....	103
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>104</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>106</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Turbin.....	26
Tabel 2.2 Harga Efisiensi Mikrohidro.....	50
Tabel 3.1 Pengukuran Kecepatan Putaran Generator, Beban Harian, Tegangan, dan Frekuensi.....	58
Tabel 4.1 Spesifikasi Turbin .....	66
Tabel 4.2 Spesifikasi Generator .....	66
Tabel 4.3 Spesifikasi Kontrol.....	66
Tabel 4.4 Data Konsumen PLTMH Soko Kembang .....	67
Tabel 4.5 Data Penelitian Debit Air.....	68
Tabel 4.6 Data Penelitian Kecepatan Putaran, Arus Beban, Tegangan, dan Frekuensi .....	70
Tabel 4.7 Data Perhitungan Efisiensi PLTMH.....	72
Tabel 4.8 Hasil Penelitian Tegangan dan Arus Beban Pada PLTMH Soko Kembang .....	75
Tabel 4.9 Hasil Presentase Regulasi Tegangan pada Setiap Phasa di PLTMH Soko Kembang.....	82
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Ketidakstabilan Frekuensi di PLTMH Soko Kembang .....	88
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Daya Listrik dan Daya Air Total PLTMH Soko Kembang Kabupaten Pekalongan. ....	93

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bendungan .....	17
Gambar 2.2 Pintu Air (Intake) .....	18
Gambar 2.3 Bak Penenang .....	19
Gambar 2.4 Saluran Pelimpah.....	20
Gambar 2.5 Bak Pengendap / Bak Penenang.....	21
Gambar 2.6 Pipa Pesat (Penstock) .....	22
Gambar 2.7 Rumah Pembangkit .....	23
Gambar 2.8 Kontruksi Turbin <i>Cross Flow</i> : .....	27
Gambar 2.9 Rotor.....	27
Gambar 2.10 Sudu Berbentuk Mangkok.....	28
Gambar 2.11 <i>Body</i> Turbin.....	28
Gambar 2.12 <i>Pulley</i> dan <i>Belt</i> .....	29
Gambar 2.13 <i>Inlet Adapter</i> .....	30
Gambar 2.14 Penampang Stator.....	32
Gambar 2.15 Rotor Jenis Kutub Silinder (a) dan Silent (b).....	33
Gambar 2.16 Model Reaksi Jangkar .....	40
Gambar 2.17 Generator Sinkron .....	41
Gambar 2.18 Saluran Pembuangan.....	42
Gambar 2.19 Blok Diagram ELC.....	43
Gambar 2.20 Jaringan Transmisi .....	45
Gambar 2.21 Skematik Mikrohidro .....	47
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	54

Gambar 4.1 <i>Digital Load Controller</i> .....	65
Gambar 4.2 Generator Sinkron .....	65
Gambar 4.3 Grafik Ketidakstabilan Tegangan dan Arus Beban Hari Ke 1 ..	76
Gambar 4.4 Grafik Ketidakstabilan Tegangan dan Arus Beban Hari Ke 2 ..	76
Gambar 4.5 Grafik Ketidakstabilan Tegangan dan Arus Beban Hari Ke 3 ..	76
Gambar 4.6 Grafik Presentase Regulasi Tegangan PLTMH Soko Kembang	83
Gambar 4.7 Grafik Ketidakstabilan Frekuensi Hari Ke 1 .....	89
Gambar 4.8 Grafik Ketidakstabilan Frekuensi Hari Ke 2.....	89
Gambar 4.9 Grafik Ketidakstabilan Frekuensi Hari Ke 3.....	89
Gambar 4.10 Grafik Perhitungan Daya Listrik dan Daya Air .....	94

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Surat Izin Penelitian .....	106
Lampiran 2. Surat Penelitian.....	107
Lampiran 3. Data Sheet Generator MJB 160 MA4.....	108
Lampiran 4. Standardisasi Peralatan dan Kompenen PLTMH .....	109
Lampiran 5. Data Penelitian Ketidakstabilan Tegangan Dan Frekuensi .....	110
Lampiran 6. Dokumentasi .....	111

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia terletak pada daerah tropis, diantara Benua Asia dan Australia, diantara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia, serta dilalui oleh garis katulistiwa, terdiri dari pulau dan kepulauan yang membujur dari arah barat ke timur, dikelilingi oleh luasnya lautan, meyebabkan wilayah Indonesia memiliki keberagaman cuaca dan iklim. Sementara kondisi topologi wilayah Indonesia yang memiliki daerah pegunungan, lembah, banyak pantai, merupakan topologi lokal yang menambah keberagaman kondisi iklim wilayah Indonesia baik menurut wilayah maupun waktu (BMKG, 2019:1). Daerah pegunungan memiliki berbagai macam sumber daya alam yang melimpah. Salah satu sumber daya alam yang sangat melimpah adalah air. Air merupakan senyawa yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup yang ada di bumi, selain itu air menutupi permukaan bumi hampir 71%. Selain digunakan makhluk hidup air juga dapat digunakan sebagai sumber terbentuknya sebuah energi baru, Salah satu sumber energi terbarukan yang sudah dikembangkan menjadi energi listrik adalah energi air. Menurut Agung Pribadi menyatakan bahwa persen pencapaian sektor Energi Baru Terbarukan (EBT) paling tinggi diperoleh dari pembangkit tenaga air sebesar 7,27% dari 12,5

Pembangkit listrik yang berasal dari energi air memiliki 2 cakupan yaitu cakupan besar yang dikelola oleh Perusahaan Listrik Negara berupa Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan cakupan kecil yang dikelola oleh pemerintah

daerah setempat berupa Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) (Buku profil sektor ESDM di Jawa Tengah, 2016:64). Teknologi PLTMH cocok diterapkan di daerah terpencil karena selain ekonomis teknologi PLTMH sangat ramah lingkungan bila dibandingkan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). O.F. Patty (1994: 134), PLTMH merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik air. PLTMH mengacu pada pembangkit listrik dengan skala yang relatif kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti saluran irigasi, air terjun atau sungai alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Untuk PLTMH dengan skala kecil dapat menggunakan generator sinkron karena harga yang lebih murah, konstruksinya kuat dan sederhana, mudah dalam pengoperasian, dan perawatan yang sangat mudah.

Generator sinkron atau dapat disebut juga dengan generator AC merupakan mesin listrik yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan perantara induksi medan magnet (Suad Ibrahim Shal, 2015:7). Dikatakan generator sinkron, karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan putaran rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator menghasilkan kecepatan yang sinkron. Pada generator sinkron, yaitu kumparan stator berada pada tempatnya sedangkan kumparan rotor bersama-sama dengan kutub magnet diputar oleh tenaga mekanik. Prinsip kerja generator sinkron dapat dijelaskan secara sederhana bahwa rotor pada generator sinkron disuplai dengan arus DC yang kemudian akan menghasilkan fluks magnet, rotor yang



digerakan oleh turbin akan menghasilkan kecepatan yang konstan, garis gaya magnet bergerak untuk menginduksikan kumparan pada stator, frekuensi yang akan dihasilkan dari tegangan generator bergantung pada kecepatan putaran rotor. Dalam hal ini bila generator diberi beban yang berubah-ubah, maka besarnya tegangan akan berubah-ubah pula. Hal ini akan mengakibatkan ketidaksatbilan pada tegangan dan frekuensi. Menurut pedoman teknis PLTMH (2008:10) daya PLTMH 10 kW sampai dengan 120 kW tegangan dan frekuensi terminal rekomendasi 415 Volt, 3 fasa, 50 Hz.

Penelitian oleh Mahalla *et al.*, (2013) melakukan evaluasi kinerja IMAG pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Cokro Tulung Kabupaten Klaten yang sudah dilakukan, bahwa perubahan beban utama mempengaruhi perubahan tegangan dan frekuensi output dari IMAG, hal ini disebabkan karena pengontrol beban yang ada sekarang tidak bisa bekerja dengan baik untuk mengalihkan perubahan beban utama ke beban semu (*ballast load*).

Penelitian oleh Erdyan Setyo W *et al.*, (2014) melakukan perancangan ELC sebagai pestabil frekuensi pada PLTMH, bahwa pengendalian beban menggunakan ELC mampu menjaga nilai daya beban pada kisaran nilai daya nominal dengan nilai error yang masih dapat ditolerir, yaitu rata-rata sebesar 1%.

Penelitian lain yang dilakukan Nguyen Tung Linh.(2009) melakukan analisis stabilitas tegangan untuk jaringan yang terkoneksi pada generator angin, bahwa pemilihan metode untuk menemukan wilayah stabilitas tegangan dengan kondisi yang tepat untuk setiap bus dari sistem tenaga distribusi. Beban maksimum yang

dizinkan dari setiap bus dihitung, sehingga dapat beroperasi dengan standar tegangan yang ada.

Berdasarkan latar belakang, penelitian dengan judul “Analisis Ketidakstabilan Tegangan Dan Frekuensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Studi Kasus PLTMH Sokokembang Kabupaten Pekalongan)” akan menganalisis pada PLTMH apabila terjadi hilangnya beban ataupun gangguan yang terjadi. analisis dilakukan pada sistem PLTMH secara umum, analisis beban harian, dan analisis ketidaksatbilan tegangan serta frekuensi.

### **1.2 Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah, identifikasi masalah sebagai berikut:

1. Perubahan beban harian konsumen pada PLTMH, studi kasus PLTMH Sokokembang
2. Adanya ketidaksatabilan tegangan dan frekuensi pada PLTMH, studi kasus PLTMH Sokokembang

### **1.3 Batasan Masalah**

Berdasarkan identifikasi masalah yang ada, maka masalah yang akan dikaji dalam penpelitian ini dibatasi pada masalah:

1. Penelitian ini dilaksanakan pada PLTMH dusun Sokokembang kabupaten Pekalongan
2. Penelitian ini menganalisis ketidakstabilan tegangan dan frekuensi yang dihasilkan pada PLTMH dusun Soko kembang.
3. Penelitian ini dilaksanakan selama 3 hari, salah satu hari dilaksanakan pada hari libur

4. Data beban harian (*main dan ballast*) , tegangan dan frekuensi diambil setiap 4 jam sekali

#### **1.4 Rumusan Masalah**

Berdasarkan batasan masalah diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengapa terjadi ketidakstabilan tegangan dan frekuensi pada PLTMH, studi kasus PLTMH Sokokembang?
2. Bagaimana solusi untuk mendapatkan kestabilan tegangan dan frekuensi pada PLTMH?

#### **1.5 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui terjadinya ketidakstabilan tegangan dan frekuensi pada PLTMH, studi kasus PLTMH Sokokembang
2. Mengetahui solusi mendapatkan kestabilan tegangan dan frekuensi pada PLTMH, studi kasus PLTMH Sokokembang

#### **1.6 Manfaat Penelitian**

##### **1.6.1 Manfaat Teoritis**

- a. Sebagai bahan masukan informasi bagi peneliti yang tertarik untuk mengembangkan lebih lanjut PLTMH di daerah Kabupaten Pekalongan
- b. Sebagai bahan masukan dalam pengelolaan PLTMH Desa Sokokembang Kabupaten Pekalongan.

### **1.6.2 Manfaat Praktis**

- a. Menjadi informasi dan bahan acuan tentang potensi PLTMH sebagai energi alternatif terbarukan
- b. Untuk menyumbang pikiran bagi pemerintah sebagai bahan pertimbangan dalam rangka energi potensial terbarukan di masyarakat

### **1.7 Penegasan Istilah**

Untuk memudahkan pemahaman dan menghindari kesalahan penafsiran terhadap penelitian ini, maka perlu kiranya dijabarkan beberapa istilah pokok dalam penelitian ini:

#### **1.7.1 Analisis**

Analisis menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) yaitu penyelidikan terhadap suatu peristiwa ( Karangan, Perbuatan, dan sebagainya) untuk mengetahui keadaan yang sebenarnya (sebab-musabab, duduk perkaranya, dan sebagainya), sedangkan analisis menurut Komarudin (2001:53) menyatakan bahwa Pengertian analisis adalah kegiatan berpikir untuk menguraikan suatu keseluruhan menjadi komponen sehingga dapat mengenal tanda-tanda komponen, hubungannya satu sama lain dan fungsi masing-masing dalam satu keseluruhan yang terpadu. Dapat disimpulkan bahwa analisis merupakan kegiatan berfikir untuk menguraikan suatu pokok menjadi bagian-bagian sehingga dapat diketahui ciri atau tanda di setiap bagian, hubungan satu sama lain hingga fungsi masing-masingnya.

### **1.7.2 Ketidakstabilan**

Ketidakstabilan menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) yang diambil dari kata instabilitas yaitu keadaan tidak stabil atau keadaan yang labil. Ketidakstabilan sendiri memiliki arti suatu keadaan yang dapat berubah atau keadaan labil. Sistem tenaga listrik baik harus memenuhi beberapa syarat diantaranya *reliability*, *quality*, dan *stability*.

### **1.7.3 Tegangan dan Frekuensi**

#### **1.7.3.1 Tegangan**

Tegangan listrik adalah beda potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik, dan dinyatakan dalam satuan volt. Terdapat dua jenis tegangan, yaitu tegangan AC dan tegangan DC

#### **1.7.3.2 Frekuensi**

Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam satuan detik dengan satuan Hz. Untuk menghitung frekuensi, harus menetapkan jarak waktu, menghitung jumlah kejadian peristiwa, dan membagi hitungan dengan panjang jarak waktu.

### **1.7.4 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)**

PLTMH merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. Pembangkit ini memiliki skala kecil yaitu kurang dari 100 kW. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* kerana ramah lingkungan. PLTMH memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah

debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun (Very Dwiyanto *ea al.* 2016).

## **1.8 Sistematika Penulisan**

Secara garis besar penulisan skripsi ini dibagi menjadi 3 bagian, yaitu bagian awal, isi, dan bagian akhir

### **1.8.1 Bagian Awal**

Bagian awal skripsi meliputi halaman judul, abstrak, lembar pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar table, daftar gambar, daftar lampiran.

### **1.8.2 Bagian Isi**

Isi skripsi disajikan dalam lima bab dengan beberapa sub bab pada tiap babnya

#### **Bab I : PENDAHULUAN**

Bertujuan mengantarkan pembaca untuk memahami terlebih dahulu gambaran mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, penegasan istilah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

#### **Bab II : TINJAUAN PUSTAKA**

Bagian ini berisikan tentang kajian teori.

#### **Bab III : METODE PENELITIAN**

Bagian ini berisikan tentang metode penelitian, tempat pelaksanaan, rancangan penelitian, desain penelitian, desain uji coba, metode pengumpulan data, instrument pengumpulan data, metode analisis data.

#### Bab IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisikan hasil temuan-temuan penelitian yang dilakukan atas dasar rumusan hipotesis yang diajukan, serta bahasa mengenai hasil yang telah ditemukan.

#### Bab V : PENUTUP

Berisikan kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang relevan dengan penelitian.

#### **1.8.3 Bagian Akhir**

Bagian akhir skripsi ini berisi daftar pustaka dan lampiran-lampiran

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Berikut ini adalah penelitian terdahulu yang berkaitan dengan analisa kestabilan tegangan dan frekuensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Studi kasus PLTMH SokoKembang Kabupaten Pekalongan) antara lain:

1. Penelitian Mahalla *et al.*, (2013) dengan judul “Evaluasi Kinerja IMAG Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Cokro Tulung Kabupaten Klaten”. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa perubahan beban utama mempengaruhi perubahan tegangan dan frekuensi output dari IMAG, hal ini disebabkan karena pengontrol beban yang ada sekarang tidak bisa bekerja dengan baik untuk mengalihkan perubahan beban utama ke beban semu (*ballast load*).
2. Penelitian Erdyan Setyo W *et al.*, (2014) dengan judul “Perancangan Electronic Load Controller (ELC) Sebagai Penstabil Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)”. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa pengendalian beban menggunakan ELC mampu menjaga nilai daya beban pada kisaran nilai daya nominal dengan nilai error yang masih dapat ditolerir, yaitu rata-rata sebesar 1%.
3. Penelitian Sri Sukamta *et al.*, (2018) dengan judul “Studi Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kedung Sipingit Desa Kayupuring Kecamatan Petungkriyono Kabupaten Pekalongan”. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa



PLTMH di desa kayupuring sudah tidak efisien dalam kinerjanya karena nilai efisiensi sebesar 54,4% dengan debit air rata-rata sebesar  $0,76 \frac{m^3}{detik}$  rata-rata daya turbin sebesar 14,89 kW, dan rata-rata daya generator sebesar 12,64 kW. Sedangkan jumlah konsumen PLTMH mencapai 80 dengan jumlah beban 14,96 kW.

4. Penelitian Olivier Paish, (2002) dengan judul “*Small hydro power: technology and current status*”. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa keuntungan dari adanya Pembangkit Listrik Tenaga Air berskala kecil adalah sumber energi yang jauh lebih terkonsentrasi daripada angin atau matahari, dapat diprediksi ketersediannya, tidak diperlukan bahan bakar dan perawatannya yang lebih mudah, dan teknologi yang dapat bertahan lama karena tidak berdampak pada lingkungan sekitar.
5. Penelitian Nguyen Tung Linh.(2009)dengan judul “Voltage Stability Analysis of Grids Connected Wind Generators”. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa pemilihan metode untuk menemukan wilayah stabilitas tegangan dengan kondisi yang tepat untuk setiap bus dari sistem tenaga distribusi. Beban maksimum yang diizinkan dari setiap bus dihitung, sehingga dapat beroperasi dengan standar tegangan yang ada.
6. Penelitian Kornelius Kunek., (2015) dengan judul” Permodelan *Electronic Load Controller* Pada Beban Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Merasap”. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa ELC salah satu alternatif dalam melindungi PLTMH agar tetap bekerja pada tegangan dan frekuensi kerjanya walaupun berubah-ubah.

7. Penelitian Sepannur Bandri. (2014) dengan judul “Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Genertor Sinkron (Aplikasi Pltg Pauh Limo Padang)”. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa semakin bertambahnya beban maka GGL induksi juga akan naik dan arus medan juga naik dimana GGL induksi yang di dapat pada saat beban puncak dari factor daya lagging adalah 6397.211 V dan arus medan 304.629 A, GGL induksi pada factor daya leading adalah 6043.474 V dan arus medan 287.784 A.
8. Penelitian Shailendra Kumar Rai *et al.*, (2015) dengan judul “Implementation of Electronic Load Controller for Control of Micro Hydro Power Plant”. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa ELC dengan menggunakan jembatan penyearah dan *chopper* IGBT dapat menunjukkan perubahan dalam berbagai parameter, yaitu tegangan eksitasi, arus stator, *output* daya mekanik, *output* daya generator, daya yang melintasi beban konsumen, dan *dump load* sebagai akibat terjadinya perubahan beban.
9. Penelitian Andriani Parastiwi., (2014) dengan judul “Pengaturan Tegangan Dan Frekuensi Pada Motor Induksi Sebagai Generator”. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa penggunaan rangkaian elektronika untuk pengaturan tegangan dan frekuensi MISG telah berhasil meningkatkan kestabilan tegangan yang dihasilkan. Pengujian pada motor induksi 4KW 3fase yang digunakan sebagai generator 1fase digunakan kapasitor 75 $\mu$ F400VAC dengan mikrokontroler sebagai pengontrol MISG dengan beban resistif berupa lampu 500W sampai 3KW dihasilkan luaran tegangan 1fase 220Volt 50Hertz yang

bervariasi dari 205VAC sampai 222VAC sehingga dapat digunakan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

## **2.2 Sumber Daya Air**

Air merupakan sumber daya alam yang sangat diperlukan oleh seluruh makhluk hidup yang ada di bumi. Oleh karena itu sumber daya air perlu dilindungi agar dapat dimanfaatkan dengan baik oleh manusia maupun makhluk hidup lainnya (Hefni Effendi, 2003 : 11). Daya air adalah potensi yang terkandung dalam air yang dapat memberikan keuntungan dan kerugian terhadap kehidupan manusia serta kehidupan lingkungan yang ada disekitarnya. Sumber daya air adalah air, sumber air dan daya air yang terkandung didalamnya (I Gusti Agung Putu Eryani, 2014 : 33).

Air adalah sumber daya terbaru, bersifat dinamis mengikuti siklus hidrologi yaitu siklus air yang tidak pernah berhenti dari atmosfer ke bumidan kembali ke atmosfer melalui kondensasi, presipitasi, evaporasi dan transpirasi. Matahari sebagai sumber energi terbesar dialam semsta memberikan pengaruh paling besar dalam siklus hidrologi. Siklus ini berawal dari penguapan air laut, sungai, danau, dan sebagainya, namun yang terbesar adalah air laut. Air berevaporasi, selanjutnya jatuh ke bumi sebagai presipitasi dalam bentuk seperti hujan, hujan es, salju, dan lain-lain (Very Dwiyanto, *ea al.*, 2016 : 2).

Air merupakan sumber energi yang digunakan oleh pembangkit listrik tenaga air, termasuk dengan PLTMH. Secara sederhana air merupakan sumber energi yang paling murah dan relative mudah didapatkan, karena pada air terdapat energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetik (pada air mengalir). Ketika air

mengalir ketempat yang lebih rendah, air akan bergerak dan memiliki kecepatan, kecepatan aliran inilah yang membuat air memiliki energi kinetik. Semakin kebawah kecepatan air semakin besar (EK semakin besar), akan tetapi ketinggian air semakin rendah (EP semakin kecil). Tenaga air (*hydropower*) adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Energi yang dimiliki air ini dapat dimanfaatkan sebagai energi mekanik dan energi listrik.. Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan menggunakan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau aliran sungai (Sulistiyono, *et al.*, 2013 : 2).

### 2.2.1 Energi Potensial

Energi Potensial adalah energi yang mempengaruhi posisi benda (ketinggian), atau dapat disebut juga dengan energi diam karena benda dalam keadaan diam dapat memiliki energi. Jika benda tersebut bergerak akan mengalami perubahan energi yaitu energi potensial menjadi energi gerak. Contoh dari energi potensial paling sederhana adalah jika seseorang membawa batu dan meletakkannya diatas bukit, maka batu tersebut akan mendapatkan energi potensial gravitasi.

Berikut merupakan persamaan dari energi potensial:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Keterangan :

$E_p$  = Energi Potensial

$m$  = Massa dari benda

$g$  = Percepatan gravitasi

$h$  = Tinggi benda dari tanah

(O.F. Patty, 1994:101)

### 2.2.2 Energi Kinetik

Energi kinetik adalah energi dari suatu benda yang dimiliki karena pengaruh gerakannya. Benda yang bergerak memiliki energi kinetik.

Berikut merupakan persamaan dari energi kinetik:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v$$

Keterangan

$E_k$  = Energi Kinetik

$m$  = Massa air

$v$  = Kecepatan air

(O.F. Patty, 1994:101)

### 2.3 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Sampai saat ini pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air merupakan pembangkit listrik yang paling ekonomis dibandingkan pembangkit listrik lainnya. Di negara-negara maju dengan potensi air yang sangat minim belum dimanfaatkan, sedangkan untuk daerah-daerah terpencil PLTMH lebih menguntungkan dibandingkan dengan adanya pemasangan listrik tegangan tinggi. Di Indonesia salah satu program pemerintah adalah listrik masuk desa. Untuk desa terpencil di daerah pegunungan, pembangunan PLTMH merupakan salah satu jawaban atas program pemerintah tersebut karena menghubungkan desa ini dengan hantaran tinggi tidaklah ekonomis (O.F. Patty, 1994: 134).

PLTMH secara tata bahasa, mikro artinya kecil dan hidro berarti air. Jadi PLTMH merupakan pembangkit listrik berskala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerakannya seperti saluran irigasi, sungai, atau air terjun dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air (Arif Gunawan, dkk. 2013: 1). Daya listrik yang akan dibangkitkan oleh PLTMH kurang

dari 100 kW. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy*.

Prinsip kerja dari PLTMH yaitu memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran. Aliran ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik ini selanjutnya akan menggerakkan generator, dari generator ini akan menghasilkan energi listrik (Very Dwiyanto *ea al.*, 2016 : 3). Keuntungan dengan adanya PLTMH yaitu dari segi ekonomis pembangkit ini lebih murah dibandingkan pembangkit lainnya, karena menggunakan energi alam, konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil, tidak menimbulkan pencemaran lingkungan, dan dapat dipadukan dengan program seperti irigasi dan perikanan (Agus Sugiri *ea al.*, 2013:1).

#### **2.4 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro**

Pada prinsipnya selain cara kerja, komponen yang digunakan PLTMH tidak jauh berbeda dengan PLTA yang memiliki kapasitas besar seperti yang dibangun oleh pemerintah di berbagai wilayah di Indonesia. Berikut merupakan komponen-komponen beserta penjelasannya dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro menurut Hunggul Y.S.H. Nugroho dan M. Kudeng Sallata dalam bukunya yang berjudul *PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)* tahun 2015:

##### **2.4.1 Bendungan**

Bendungan aliran sungai pada mikrohidro dibuat untuk beberapa tujuan, yaitu:

1. Menaikan permukaan air
2. Mengarahkan aliran
3. Membagi aliran air

Bendungan yang dibuat tidak selalu harus bangunan permanen dengan pasangan batu, melainkan bisa dari brojong atau sekedar susunan batu. Struktur dan bahan bendungan sangat bergantung pada kondisi lokasi, aliran sungai, dan beberapa kebutuhan air yang akan digunakan sebagai penggerak turbin



Gambar 2.1 Bendungan  
(Sumber : Dokumentasi PLTMH Sokokembang)

#### **2.4.2 Pintu Pengambilan Air (Intake)**

Intake merupakan alat untuk mengambil air dari sumbernya. Kapasitas intake harus mampu memenuhi kebutuhan maksimum harian. Dalam pembangunan intake harus diperhatikan antara lain lokasinya harus aman dan arus deras, terletak di hulu sungai sehingga aman dari pencemaran, dan posisi intake harus tepat, agar air baku dapat diatur dan ditampung secara konstan sesuai dengan kebutuhan, baik pada musim kemarau maupun

pada musim hujan. Intake biasanya berada dibibir sungai kearah hulu sungai. Pada intake biasanya dilengkapi dengan perangkat sampah yang ukurannya relatife besar dan alat pengontrol debit air yang akan dialirkan melalui saluran pembawa. Pada intake terdapat lubang yang digunakan sebagai pintu masuk air menuju saluran pembawa.



Gambar 2.2 Pintu Air (Intake)  
(Sumber: Dokumentasi PLTMH Sokokembang)

#### **2.4.3 Saluran Pembawa**

Saluran pembawa adalah saluran air yang kurang lebih sejajar dengan sungai, tetapi kemiringan yang sangat kecil, mirip dengan saluran irigasi. Pada ujung saluran pembawa terdapat bak penenang.

#### **2.4.4 Bak Pengendap**

Bak pengendap merupakan saluran yang terletak setelah pintu intake. Fungsi dari bak pengendap yaitu mengendapkan kotoran yang dibawa air berupa krikil, pasir, dan sendimen lainnya sehingga tidak ikut menuju saluran pembawa. Bak pengendap dibuat lebih miring agar kecepatan aliran



air menurun. Pada PLTMH berkapasitas kecil bak penenang juga dapat berfungsi sebagai bak penenang



Gambar 2.3 Bak Pengendap / Bak Penenang  
(Sumber: Dokumentasi PLTMH Sokokembang)

#### **2.4.5 Saluran Pelimpah**

Saluran pelimpah berfungsi sebagai pencegah terjadinya aliran air lebih yang tidak terkontrol dengan cara mengembalikan kelebihan air dalam saluran menuju sungai melalui saluran pelimpah. Kelebihan debit air terjadi ketika debit air didalam saluran melebihi batas. Saluran pelimpah terdapat pada bak pengendap, bak penenang, dan saluran pembawa. Dengan adanya saluran pelimpahan dapat mencegah terjadinya erosi dan tanah longsor pada saluran air yang diakibatkan air meluber kemana-mana.



Gambar 2.4 Saluran Pelimpah  
(Sumber: Dokumentasi PLTMH Sokokembang)

#### 2.4.6 Bak Penenang

Bak penenang berfungsi sebagai penghubung antara saluran pembawa dengan pipa pesat sekaligus sebagai penampung air dalam volume yang stabil (*input* dan *output* seimbang) pada suatu posisi dengan beda ketinggian dari posisi turbin. Pada bak penenang dapat dilakukan pengaturan debit air sesuai dengan kebutuhan menggunakan pintu-pintu air. Pada pintu air pada bak penenang dipasang berupa saringan untuk mencegah sampah, batu, dan benda-benda lainnya yang akan masuk ke dalam pipa pesat. Hal ini bertujuan untuk menghindari penyumbatan pada pipa pesat dan akan merusak turbin. Bak penenang merupakan media penghubung saluran terbuka dengan bendungan dan saluran tertutup (*penstock*) yang terhubung dengan turbin



Gambar 2.5 Bak Pengendap / Bak Penenag  
(Sumber: Dokumentasi PLTMH Sokokembang)

#### 2.4.7 Saluran Tertutup / Pipa Pesat (Penstock)

Penstock merupakan saluran pengaliran air dari bak penenang menuju ke turbin dalam debit yang stabil. Besar penstock tergantung pada debit aliran air yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin agar menghasilkan daya maksimal. Pada umumnya penstock berbentuk tabung dan terbuat dari besi maupun paralon (PVC) dengan diameter tertentu. Berikut merupakan gambaran antara debit air dengan ukuran diameter pada penstock :

Debit < 10 liter/detik	= Ø 3"
Debit 10 – 15 liter/detik	= Ø 4 "
Debit 15 – 20 liter/detik	= Ø 5"
Debit 20 - 30 liter/detik	= Ø 6 "
Debit 30 -60 liter/ detik	= Ø 8"
Debit 60 – 100 liter/detik	= Ø 10"
Debit 100 – 150 liter/detik	= Ø12"
Debit 150 – 250 liter/ detik	= Ø 14"

Apabila aliran air mencapai 300 liter/detik, maka bisa menggunakan dua buah penstock yang berdiameter 12” berpasangan.



Gambar 2.6 Pipa Pesat (Penstock)  
(Sumber : Hunggul Y.S.H. Nugroho dan M. Kudeng Sallata., 17)

#### 2.4.8 Rumah Pembangkit

*Power House* (PH) disebut juga dengan rumah pembangkit. Rumah pembangkit merupakan tempat atau ruangan yang berguna untuk penempatan instalasi-intalasi turbin, dimana air yang mengalir melalui *water way* akan mengarah ke rumah pembangkit dan akan memutar turbin yang kemudian akan menghasilkan energi listrik.

Proses terbentuknya energi listrik berada pada rumah pembangkit. Pada rumah pembangkit terdapat turbin dan generator. Turbin digunakan untuk mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik, sedangkan generator akan mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik.

Besar kecilnya rumah pembangkit tergantung pada besarnya instalasi turbin dan berhubungan juga dengan kapasitas energi yang

dihasilkan. Dalam pembangunan PLTMH rumah pembangkit sangat didahulukan pembangunannya setelah bendungan karena tingkat pembangunan rumah pembangkit yang sangat detail membutuhkan tenaga dan material yang cukup besar.



Gambar 2.7 Rumah Pembangkit  
(Sumber : Dokumentasi PLTMH Sokokembang)

#### 2.4.9 Turbin

Turbin merupakan sebuah mesin yang dapat berputar dengan adanya bantuan dari energi lain, misalakan dari energi air. Turbin memiliki bagian yang bergerak yaitu *assembly rotor blade* atau yang sering disebut dengan rotor. Aliran air yang bergerak menjadikan baling-baling berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan motor. Turbin terbagi atas dua macam yaitu turbin implus dan turbin reaksi.

Turbin implus merupakan turbin yang akan bekerja biladapat merubah seluruh energi air yaitu energi potensial,, tekanan dan kecepatan yang tersedia untuk dirubah menjadi energi kinetik untuk memutar tubin. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetic pada nozzle. Contoh dari turbin jenis ini adalah turbin pelton, turbin banki, dan turbin cross flow. Sedangkan untuk turbin reaksi yaitu rotor akan bekerja jika adanya aliran

air dengan tinggi terjun karena tekanan. Turbin jenis ini paling banyak digunakan. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudut sehingga *runner* dapat berputar. Contoh dari turbin reaksi adalah turbin francis, turbin diagonal flow, dan turbin baling-baling( A. Arismunandar dan S. Kuwahara., 1988 : 53).

Pada PLTMH menggunakan jenis turbin implus yaitu turbin *cross flow*.

Turbin *cross flow* adalah turbin air yang dikembangkan untuk tinggi terjun 3-10 meter dengan debit air yang besarnya mencapai  $30 \frac{m^3}{detik}$ . Roda air turbin cross flow panjang berfungsi untuk menangkap air yang terjun dari sungai. Panjang roda air ini tergantung pada banyak sedikitnya air yang ditangkap. Turbin ini hanya baik untuk beban konstan, misalkan menggerakkan generator asinkron dan parallel dengan sistem besar. Daya yang dapat dihasilkan oleh turbin *cross flow* mencapai 400 kW, cocok untuk daerah pedesaan karena konstruksinya yang relative sederhana (Djiteng Marsudi, 2011 :143). Turbin *cross flow* dikenal dengan turbin kinetik. Terdapat dua jenis turbin kinetik yaitu turbin kinetik dengan poros *horizontal* dan turbin berporos *vertical*. Berikut merupakan keuntungan dari pemanfaatan turbin kinetik, yaitu:

1. Pemilihan lokasi yang tidak terlalu bersyarat
2. Tanpa bendungan
3. Instalasi yang murah
4. Waktu pemasangan yang tepat
5. Keluaran energi yang mudah diskala

6. Kapasitas yang *steady*, produksi energi *steady*
7. Bentuk sederhana dan mudah dibuat
8. Potensi air yang dibutuhkan tidak membutuhkan tinggi jatuh, yang dibutuhkan hanya aliran air
9. Tegangan yang dibangkitkan adalah tegangan DC
10. Pemeliharaan yang mudah

Prinsip kerja dari turbin *cross flow* adalah aliran air yang masuk melalui pintu masuk pipa diatur oleh baling-baling pemacu dan masuk keputaran kipas turbin. Setelah air melewati putaran kipas turbin, air berada pada putaran kipas yang berlawanan, sehingga memberikan efisiensi tambahan. Akhirnya air mengalir dari *casing* baik secara bebas atau melalui tabung dibawah turbin (CINK Hydro, 2013 : 1).

Pemilihan desain atau tipe turbin disesuaikan dengan kondisi pada lokasi khususnya beda tinggi dan debit air yang tersedia. Semua tipe turbin memiliki karakteristik kecepatan dan kekuatan putaran paling efisien pada kombinasi beda tinggi dan debit tertentu. Berdasarkan beda tinggi, desain turbin dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu beda tinggi tergolong tinggi (*high head*) diatas 30 meter, sedang (*medium head*) 10 -30 meter, dan rendah (*low head*) dibawah 10 meter. Turbin dapat dibedakan berdasarkan cara kerjanya yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Turbin impuls merupakan turbin yang mengubah seluruh energi air menjadi energi kinetik yang akan memutar turbin sehingga menghasilkan energi puntir, sedangkan

turbin reaksi adalah turbin yang mengubah energi air secara langsung menjadi energi puntir.

Tabel 2.1 Jenis Turbin

Jenis Turbin	<i>High Head</i> (> 30 m)	<i>Medium Head</i>	<i>Low Head</i> (< 10 m)
Turbin impluse	Pelton  Turgo	Crossflow  Multi Jet Pelton  Turgo	Crossflow
Turbin reaksi		Francis	Propeller  Kaplan

Jenis turbin yang sering digunakan untuk pembangkit listrik mikrohidro di pedesaan Indonesia adalah tipe *crossflow*. *Crossflow* menggambarkan aliran air yang dua kali menabrak *runner blade*. Setelah memukul *runner blade* bagian atas, aliran air selanjutnya melalui bagian dalam rotor akan memukul *runner blade* bagian bawah, sehingga terjadi dua kali pukulan. Efisiensi *crossflow* masih lebih rendah dibandingkan tipe lain, namun *crossflow* lebih sederhana dan murah serta relatif mudah dibuat. Salah satu keunggulan dari turbin tipe *crossflow* adalah cukup sesuai untuk digunakan pada berbagai variasi debit dan beda ketinggian.





Gambar 2.8 Konstruksi Turbin *Cross Flow*  
(Sumber: <http://cink-hydro-energy.com/id/turbin-crossflow/>, 2013)

Berikut merupakan penjelasan dari komponen-komponen yang terdapat pada turbin tipe *crossflow* adalah sebagai berikut:

1. Rotor (*Turbin Runner*)

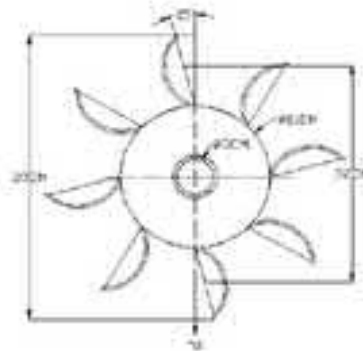
Rotor merupakan bagian yang berputar dari turbin atau yang sering disebut dengan baling-baling atau kincir. *Runner* ini terdiri dari poros (as), *blade* (bilah), dan *disk* (piringan).



Gambar 2.9 Rotor  
(Sumber: Hunggul Y.S.H. Nugroho dan M. Kudeng Sallata., 22)

## 2. Sudu

Sudu mengubah arah kecepatan aliran fluida sehingga menimbulkan gaya yang memutar poros. Sudu pada turbin diperlukan untuk menangkap jatuhnya air, sehingga membuat runner berputar. Sudu terletak menyilang terhadap aliran, sehingga akan menerima energi kinetik aliran untuk diubah menjadi kecepatan putar tanpa membutuhkan tekanan yang besar (Sahid, 2012:2). Sudu yang baik dapat meningkatkan efisiensi turbin. Jumlah sudu pada turbin *crossflow* berjumlah 12 sudu. Sudu mangkok adalah sudu yang sisinya dibuat melengkung dan terdapat sisi samping agar dapat menahan aliran air, dan meningkatkan efisiensi gaya tangensial.



Gambar 2.9 Sudu Bentuk Mangkok  
(Sumber: Ali akbar dan A'rasy Fahrudin, 2016:3)

## 3. Body Turbin

*Body* turbin adalah tempat dipasangnya bagian-bagian turbin lain seperti rotor, *inlet guide* dan *inlet adapter*.



Gambar 2.11 *Body* Turbin  
(Sumber: Hunggul Y.S.H. Nugroho dan M. Kudeng Sallata., 22)

#### 4. *Inlet Guide Vane* (Pegaturan Air)

*Inlet Guide Vane* berfungsi sebagai *nozzle* yang akan mengarahkan aliran air menuju dan menggerakkan rotor pada volume dan kecepatan aliran yang dihendaki. Putaran rotor akan memutar *pulley* yang selanjutnya dengan bantuan *belt* akan mutar generator. *Body inlet guide vane* melalui as akan dihubungkan dengan stang kemudi melalui as drat.

#### 5. Stang kemudi (*regulator wheel*)

Stang kemudi berfungsi untuk menggerakkan *inlet guide vane*. Komponen stang kemudi terdiri dari *bearing temple* tipe UCF 205 atau 206, potongan besi as yang diberi lubang *ber-drat* tegak lurus sumbu as, as *ber-drat*, dan sepasang flat besi. komponen ini dikemudikan dan dihungkan dengan as dai *inlet guide vane*.

#### 6. *Pulley* dan *Belt*

*Pulley* digunakan untuk merubah kecepatan putar antara satu poros dengan poros yang lain. Dalam mikrohidro ada beberapa jenis sistem penggerak diantaranya penggerak langsung, *flat belt* dan *pulley*, *wedge belt* dan *pulley*, *chain and sprocket*, dan *gearbox*. Namun pada umumnya yang sring digunakan adalah kombinasi *pulley* dan *belt*.



Gambar 13. Beberapa model puli yang terbuat dari bahan cor



Gambar 2.12 *Pulley* dan *Belt*

(Sumber: Hunggul Y.S.H. Nugroho dan M. Kudeng Sallata., 25)

### 7. *Inlet Adapter*

*Inlet adapter* adalah saluran penghubung antara badan turbin dengan *penstock*.

Contoh *inlet adapter* dapat dilihat pada gambar 2.13



Gambar 2.13 *Inlet Adapter*

(Sumber: Hunggul Y.S.H. Nugroho dan M. Kudeng Sallata., 26)

### 8. *Base Frame* (Dudukan Turbin)

*Base frame* merupakan dudukan mesin turbin atau generator. Untuk memudahkan dalam pemasangan dilapangan pada umumnya *base frame* turbin dengan generator dijadikan satu, namun pada kondisi tertentu dudukan turbin dipisah dengan dudukan generator. Posisi generator dibuat lebih tinggi dari posisi turbin.

#### 2.4.10 Generator Sinkron

Generator sinkron atau dapat disebut juga dengan generator AC merupakan mesin listrik yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan perantara induksi medan magnet (Suad Ibrahim Shal, 2015:7). Dikatakan generator sinkron, karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan putaran rotor dengan kutub-kutub mangnet yang berputar dengan kecepatan

yang sama dengan medan putar pada stator menghasilkan kecepatan yang sinkron. Pada generator sinkron, yaitu kumparan stator berada pada tempatnya sedangkan kumparan rotor bersama-sama dengan kutub magnet diputar oleh tenaga mekanik. Mesin ini tidak dapat bekerja sendiri karena kutub-kutub rotor tidak dapat tiba-tiba mengikuti kecepatan medan putar pada saat waktu saklar terhubung dengan jala-jala. Generator AC terdapat 2 jenis, yaitu generator AC 1 fasa dan generator AC 3 fasa.

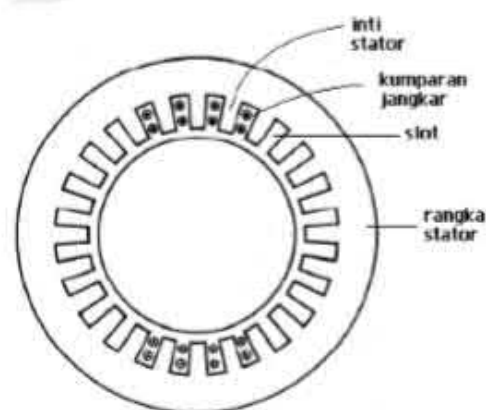
#### **2.4.10.1 Bagian-Bagian Generator Sinkron**

Konstruksi generator sinkron maupun sebagai motor tidak berbeda, perbedaannya hanya terdapat pada prinsip kerja. Pada generator sinkron yang digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik dengan kapasitas besar, belitan jangkar ditempatkan pada stator sedangkan belitan medan ditempatkan pada rotor, dengan alasan sebagai berikut:

1. Belitan jangkar lebih kompleks dibanding belitan medan sehingga terjamin jika ditempatkan pada stator (tempat yang tidak dapat bergerak).
2. Lebih mudah pengisolasiannya dan dapat melindungi belitan jangkar terhadap tegangan yang tinggi.
3. Proses pendinginan belitan jangkar lebih mudah, karena stator terbuat cukup besar sehingga dapat didinginkan dengan udara yang ada pada stator (udara paksa).
4. Belitan yang memiliki tegangan rendah sehingga efisien bila digunakan pada kecepatan tinggi.

Bagian-bagian generator sinkron terdiri dari:

1. Stator adalah bagian yang diam dan berbentuk silinder. Stator terdiri dari krangka yang terbuat dari besi tuang, inti jangkar terbuat dari besi lunak (baja silicon), alur (*slot*) untuk meletakkan belitan (kumparan), dan belitan jangkar yang terbuat dari tembaga diletakan pada alur(*slot*). Stator berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Stator tidak bergerak, konstruksinya terbuat dari bahan feromagnetik guna untuk mengurangi rugi-rugi arus pusar. Bagian-bagian dari stator terdiri dari inti stator, belitan stator, alur stator, dan rumah stator.



Gambar 2.14 Penampang Stator  
(Sumber: Juhari, Dipl Eng, S.Pd., 7)

2. Rotor adalah bagian yang berputar berbentuk silinder. Rotor terdiri dari 2 jenis yaitu jenis kutub menonjol untuk generator kecepatan rendah dan menengah dan jenis kutub untuk generator kecepatan tinggi. Rotor berfungsi untuk membangkitkan medan magnet yang kemudian menghasilkan tegangan dan akan diinduksikan ke stator. Bagian rotor

terdiri dari dua bagian umum, yaitu inti kutub dan kumparan medan.

Rotor terdiri dari tiga komponen utama, yaitu:

a. *Slip Ring*

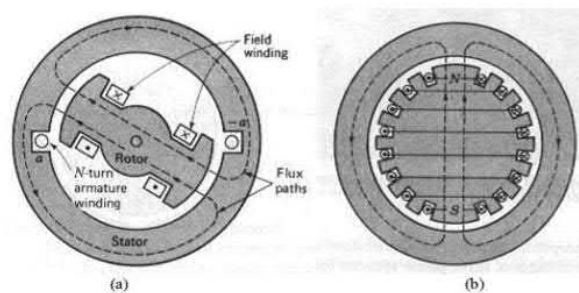
*Slip ring* merupakan cincin logam yang melingkari poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi tertentu. Terminal kumparan rotor dipasang ke slip ring kemudian dihubungkan ke sumber arus searah melalui sikat yang diletaknya menempel pada *slip ring*.

b. Kumparan Rotor (Kumparan Medan)

Kumparan medan merupakan komponen yang menghasilkan medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah dari sumber eksitasi.

c. Poros Rotor

Poros rotor merupakan tempat untuk menaruh kumparan medan, dimana poros tersebut telah berbentuk slot-slot secara parallel terhadap poros rotor.



Gambar 2.15 Rotor Jenis Kutub Silinder (a) dan Silent (b)  
(Sumber: Juhari, Dipl Eng, S.Pd., 7)

#### 2.4.10.2 Prinsip Kerja Generator Sinkron

Jika kumparan rotor berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak diantara kutub magnet utara dan selatan diputar oleh *prime mover*, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet yang

bersifat bolak-balik atau fluks putar. Fluks putar akan memotong kumparan stator sehingga diujung kumparan stator akan timbul gaya gerak listrik (ggl) karena pengaruh induksi dari fluks putar. Gaya gerak listrik akan timbul pada kumparan stator juga bersifat bolak-balik, atau berputar dengan kecepatan sinkron terhadap kecepatan putaran rotor.

Berikut merupakan prinsip kerja dari generator sinkron:

1. Kumparan medan pada stator dihubungkan dengan sumber eksitasi tertentu yang akan mensuplai arus searah terhadap kumparan medan. Dengan adanya arus searah yang mengalir melalui kumparan medan, maka akan menimbulkan fluks yang besar terhadap waktu adalah tetap.
2. Penggerak mula dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$f = \frac{P \cdot N}{120}$$

Keterangan:

f = Frekuensi (Hz)

P = jumlah kutub

n = kecepatan putaran (rpm)

(Dody Purmadani., 2016: 16)

Frekuensi dari tegangan induksi di Indonesia ialah 50 Hz dan jumlah kutub pada generator selalu genap maka putaran rotor, putaran kutub, putaran penggerak mula sudah ditentukan. Kestabilan frekuensi berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi tetap dalam rentang nominal setelah gangguan sistem yang parah mengakibatkan ketidakseimbangan yang signifikan antara



pembangkit dan beban (Leonard L. Grigsby, 2007:6). Ketidakseimbangan ini bergantung pada kemampuan untuk mengembalikan keseimbangan antara generasi sistem dan beban. Penurunan frekuensi terjadi bila kekurangan pembangkit atau kelebihan beban, hal tersebut mengakibatkan kegagalan-kegagalan unit-unit pembangkit secara beruntun yang akan menyebabkan kegagalan sistem secara total. Pelepasan sebagian beban secara otomatis dapat menggunakan rele frekuensi. Rele frekuensi dapat mencegah terjadinya penurunan frekuensi dan mengembalikan frekuensi dalam kondisi yang normal.

3. Putaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan menghasilkan fluks magnetic yang berubah-ubah terhadap besaran waktu. Adanya perubahan fluks magnetic yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut. Besarnya tegangan induksi yang dibangkitkan pada kumparan jangkar yang terdapat pada stator memiliki persamaan sebagai berikut:

$$E = -N \frac{d\phi}{dt}$$

$$E = -N \frac{d\phi_m \sin \omega t}{dt}$$

$$E = -N\omega\phi_m \cos \omega t$$

$$\text{Bila : } \omega = 2\pi f$$

$$= -N(2\pi f)\Phi_m \cos \omega t$$

$$\text{Bila: } f = \frac{np}{120}$$

$$= -N \left( 2\pi \frac{np}{120} \right) \Phi_m \cos \omega t$$

$$= -N \left( 2.3,14 \frac{np}{120} \right) \Phi_m \cos \omega t$$

$$E_m = N \left( 2.3,14 \frac{np}{120} \right) \Phi_m$$

$$E_{eff} = \frac{E_{maks}}{\sqrt{2}} = \frac{N \left( 2.3,14 \frac{np}{120} \right) \Phi_m}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{4,44 N_{pn} \Phi_m}{120}$$

$$\text{Dimana : } \frac{4,44 N_{pn} \Phi_m}{120} = c$$

Sehingga didapat persamaan :

$$E_{eff} = Cn\Phi_m$$

#### Keterangan

E = ggl induksi (Volt)

N = jumlah belitan

C = konstanta

n = putaran (rpm)

$\Phi_m$  = fluks magnetic

p = jumlah kutub

f = frekuensi (Hz)

(Dody Purmadani., 2016: 17)

Untuk generator sinkron 3 fasa kumparan jangkar yang digunakan ditempatkan pada stator yang disusun dalam bentuk tertentu, sehingga susunan kumparan jangkar yang sedemikian akan membangkitkan tegangan induksi pada ketiga kumparan jangkar yang sama besar tapi berbeda fasa 120 derajat. Setelah itu ketiga terminal kumparan jangkar dioperasikan untuk menghasilkan energi listrik.

Kapasitas sebuah generator dinyatakan dalam Volt-meter atau VA. Sebuah generator harus memiliki kapasitas (Volt- Ampere) yang cukup untuk memenuhi kebutuhan pada saat beban maksimum. Dengan memperhatikan rugi-rugi generator serta untuk menjamin kinerja generator, maka perlu adanya factor keamanan 25%. Jadi untuk memenuhi kebutuhan beban sebesar 100 kVA, maka generator yang digunakan kapasitasnya sebesar 125 kVA. Bila menggunakan pengontrolan beban (ELC), maka kapasitas daya tambahan (ekstra) sebesar 60%. Disamping itu perlu dipikirkan dengan adanya pertambahan beban akibat permintaan suplai listrik. Efisiensi generator sinkron umumnya akan meingkat sebanding dengan kapasitas dari 65% untuk daya 1 kVA sampai 90% untuk daya 20 kVA. Generator yang dipakai disesuaikan dengan sistem arus bolak-balik yang dipilih.

#### **2.4.10.3 Metode Pengaturan Tegangan Generator Sinkron**

Cara menentukan pengaturan tegangan untuk mesin-mesin kecil dapat diperbolehkan dengan cara langsung, yaitu generator sinkron diputar pada kecepatan nominal, eksitasi diatur sehingga menghasilkan tegangan nominal (V) pada beban penuh, kemudian beban dilepas dengan menjaga agar putran tetap konstan. Selain itu, arus eksitasi juga harus dijaga konstan. Maka, akan diperoleh harga tegangan pada beban nol (EO) sehingga regulasi tegangan dapat dihitung. Untuk mesin mesin besar, metode yang digunakan untuk menentukan regulasi tegangan dengan cara langsung sering kali tidak dilakukan. Hal ini disebabkan oleh rating KVA yang sangat

tinggi. Terdapat beberapa metode tidak langsung yang hanya memerlukan sejumlah kecil daya jika dibandingkan dengan daya yang diperlukan pada metode langsung. Beberapa metode tersebut antara lain:

1. Metode impedansi sinkron (EMF)
2. Metode ampere lilit (MMF)
3. Metode potier
4. Metode new ASA (American Standard Association)

#### **4.4.10.2 Efek Perubahan Beban Pada Generator Yang Beroperasi**

Bertambahnya beban pada konsumen dalam keadaan sedang dilayani generator identik dengan bertambahnya daya nyata atau daya aktif yang mengalir dari generator. Dengan bertambahnya beban akan menambah arus saluran yang mengalir dari generator, bertambahnya arus saluran akan mempengaruhi nilai tegangan terminal  $V_t$ . Pengaruh utama disebabkan oleh faktor daya beban, dimana penambahan beban dengan faktor daya tertinggal (beban induktif), faktor daya satu (beban resitif), dan faktor daya mendahului (beban kapasitif) akan mengakibatkan tegangan terminal  $V_t$  berubah-ubah. Berikut merupakan macam-macam beban yang menyebabkan terjadinya faktor daya beban:

1. Beban resitif ( $\cos\varphi = 1$ )

Pengaruh fluks jangkar terhadap fluks medan hanyalah sebatas mendistorsinya saja tanpa mempengaruhi kekuatan (*cross magnetizing*).

2. Beban induktif ( $\cos\varphi = 0$  lag)

Arus akan tertinggal sebesar  $90^0$  dari tegangan. Fluks yang dihasilkan arus jangkar akan melawan fluksi arus medan. Reaksi jangkar akan melemahkan (*demagnetizing*) fluks arus medan.

3. Beban kapasitif ( $\cos\varphi = 0 \text{ lead}$ )

Arus akan mendahului tegangan sebesar  $90^0$ . Fluks yang dihasilkan oleh arus jangkar akan searah dengan fluks arus medan. Reaksi jangkar akan menguatkan (*magnetizing*) fluks arus medan.

#### 4.4.10.3 Karakteristik Generator Sinkron

Karakteristik generator sinkron dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Generator sinkron dalam keadaan jalan tanpa beban.

Dalam keadaan jalan tanpa beban, generator sinkron diputar pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan, maka tegangan akan diinduksikan pada kumparan jangkar stator. Bentuk hubungan diperlihatkan pada persamaan sebagai berikut:

$$E_o = c.n.\Phi$$

Keterangan

c = konstanta mesin

n = kecepatan putaran (rpm)

$\Phi$  = fluks yang dialirkan oleh medan arus

(Dody Purmadani., 2016: 18)

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karena tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar.

2. Generator sinkron dalam keadaan berbeban

Jika generator sinkron belum mendapatkan beban atau beban sama dengan nol, maka ggl E yang dibangkitkan kumparan jangkar yang

terdapat pada stator sama dengan tegangan terminalnya  $V$ . Pada saat generato sinkron berbeban, maka ggl  $E$  tidak sama dengan tegangan  $V$ .

Tegangan  $V$  pada terminal akan bervariasi karena:

1. Jatuh tegangan karena resistansi jangkar  $R_a$  sebesar  $I R_a$
2. Jatuh tegangan karena reaktansi bocor  $X_L$  dari jangkat sebesar  $I X_L$
3. Jatuh tegangan karena reaksi jangkar sebesar  $I X_a$

Tegangan pada waktu generator berbeban akan mengikuti persamaan sebagai berikut:

$$E = V + I (R_a + j X_a)$$

Keterangan :

$E$ = ggl jangkar

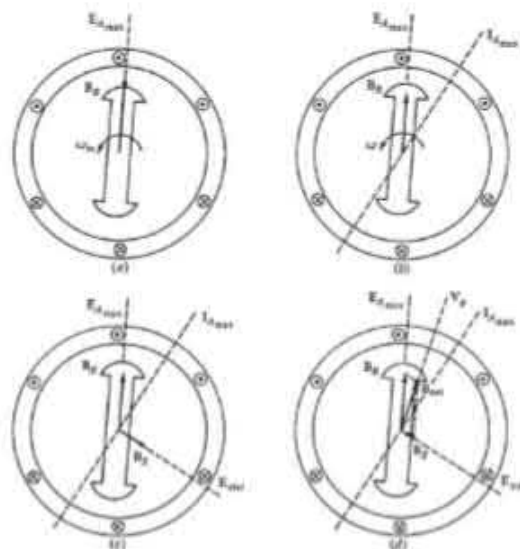
$V$ = tegangan terminal

$I$ = arus beban

$R_a$ = reaksi jangkar

$X_s = X_L + X_a$  = reaktansi sinkron

(Dody Purmadani., 2016: 30)



Gambar 2.16 Model Reaksi Jangkar  
( Sumber: Dwi Septiawan, 2017)

Berikut merupakan keterangan gambar 2.14, sebagai berikut:

1. Medan magnet yang berputar akan menghasilkan tegangan induksi.
2. Tegangan resultan akan menghasilkan arus *lagging* saat generator berbeban induktif.
3. Arus stator menghasilkan medan magnet sendiri  $B_s$  dan tegangan  $E_{stator}$  pada belitan stator.
4. Vector penjumlahan  $B_s$  dan  $B_r$  yang menghasilkan  $B_{net}$  dan penjumlahan  $E_{stator}$  dengan  $E_{Amax}$  menghasilkan  $V_F$  pada *output*.

Reaksi jangkar pada generator sinkron bergantung pada jenis beban yang dilayani dan bergantung dari sudut fase antara arus jangkar dan tegangan induksi. Reaksi jangkar dapat menimbulkan berupa distorsi penguatan (*magnetizing*) maupun pelemahan (*demagnetizing*) fluks arus medan pada celah udara.



Gambar 2.17 Generator Sinkron  
(Sumber: Dokumentasi PLTMH Sokokembang)

#### 2.4.11 Saluran Pembuangan

Saluran pembuangan merupakan saluran yang digunakan untuk membuang aliran air yang sudah melewati rumah pembangkit. Fungsi dari saluran pembuangan ini yaitu membuang aliran air yang sudah digunakan

untuk memutar turbin dalam rumah pembangkit. Setelah dibuang dari rumah pembangkit saluran pembuangan ini akan menuju ke sungai.



Gambar 2.18 Saluran Pembuangan  
(Sumber : Ikrar Hanggara dan Harvi Irvani., 2017)

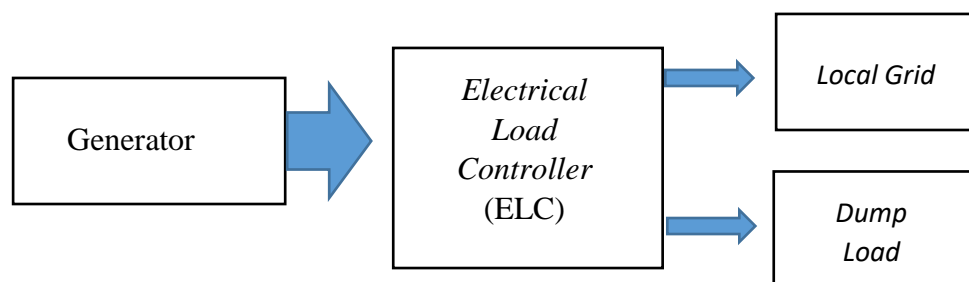
#### 2.4.12 Sistem Kontrol

Frekuensi dan tegangan listrik yang dihasilkan generator dipengaruhi oleh kecepatan putaran generator. Perubahan kecepatan generator akan menimbulkan perubahan frekuensi dan tegangan listrik. Pada batas-batas tertentu perubahan tersebut tidak membahayakan. Tujuan pengontrolan pada PLTMH adalah untuk menjaga sistem elektrik dan mesin agar selalu berada pada daerah kerja yang diperbolehkan. Bila operasi pada frekuensi dan tegangan berbeda dapat mengakibatkan peralatan listrik tetap rusak, misalnya pada malam hari penggunaan 90% lampu rumah dimatikan, maka beban mikro hidro menjadi turun. Hal ini mengakibatkan roda gerak berputar lebih cepat (*run away speed*). Mekanisme pengontrolan dapat berlangsung secara manual, otomatis, dan semi-otomatis. Untuk pengontrolan semi-otomatis, pengaturan beban generator dilakukan secara otomatis sementara mekanisme bukaan katub (*guide vane*) tetap dilakukan secara manual sistem control semi-otomatis dapat dikenal sebagai pengatur beban (*load controller*).



*Electronic Load Controller* (ELC) berfungsi untuk menjaga kestabilan dan ketahanan sistem pembangkit akibat berbagai macam perubahan yang sering terjadi pada sisi beban (Erduyan Setyo W. *ea al.*, 2014: 1). ELC dipasang diantara PLTMH dan beban konsumen. Dengan menggunakan beban komplemen, ELC akan membagi arus yang dihasilkan dari PLTMH ke kedua beban yaitu beban konsumen dan beban komplemen. Dengan menggunakan ELC, maka PLTMH akan tetap bekerja pada keadaan nominal walaupun beban konsumen berubah-ubah (Kornelius Kunek., 2015).

Berikut merupakan blok diagram dari generator dengan pengontrol beban listrik



Gambar 2.17 Blok Diagram ELC  
(Sumber : Mahmoud Kabalan. *Ea al.*, 2015 : 2)

Jika frekuensi generator meningkat ,menandakan bahwa pasokan lebih tinggi dari permintaan. Dan sisi lain, jika frekuensi berkurang maka pasokan lebih rendah dari permintaan. *Electronic Load Controller* (ELC) bertujuan untuk menjaga frekuensi antara 59,5 dan 60,5 untuk operasi pembangkit secara optimal. Setiap kali frekuensi meningkat, maka ELC akan mengalihkan energi yang berlebihan menuju ke *dump load* dan akan

hilang sebagai panas. Kapasitas dump beban ini harus sesuai dengan kapasitas pembangkit generator (Mahmoud Kabalan. *Ea al.*, 2015 : 2).

#### **2.4.13 Jaringan Transmisi**

Jaringan transmisi merupakan jaringan kebel listrik yang menyalurkan listrik dari pembangkit listrik menuju ke pelanggan. Untuk sistem jaringan transmisi pada PLTMH diusahakan jarak dari rumah pembangkit menuju ke pelanggan tidak melebihi 2 KM, hal ini bertujuan untuk menjaga kualitas listrik yang menuju ke konsumen. Dalam jaringan transmisi ada beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya isolator. Isolator merupakan bahan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik. Dengan dipasangnya isolator dapat terhindar dari kasus yang sering terjadi pada jaringan transmisi. Salah satu isolator pada jaringan transmisi yaitu penangkal petir. Penangkal petir digunakan bila pada suatu jaringan transmisi tersambar petir tidak akan menyebabkan kebakaran pada jaringan tersebut. Selain isolator hal yang perlu diperhatikan yaitu pada pemasangan jaringan transmisi. Pemasangan jaringan transmisi diusahakan jangan sampai terbebani oleh pepohonan, hal ini dapat menyebabkan kabel terputus ataupun terjadinya hubung singkat (*short circuit*) pada kabel transmisi yang terbuka.



Gambar 2.20 Jaringan Transmisi  
(Sumber : [www.iesr.or.id](http://www.iesr.or.id))

## 2.5 Sistem Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

PLTMH merupakan bentuk perubahan tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin dan generator. Daya (*power*) yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$P = 9,8.H.Q.....(kW)$$

Keterangan

P = Daya listrik yang dihasilkan secara teoritis

H = Tinggi jatuh air efektif (m)

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

(A.Arismunandar dan S Kuwahara.,1988: 1)

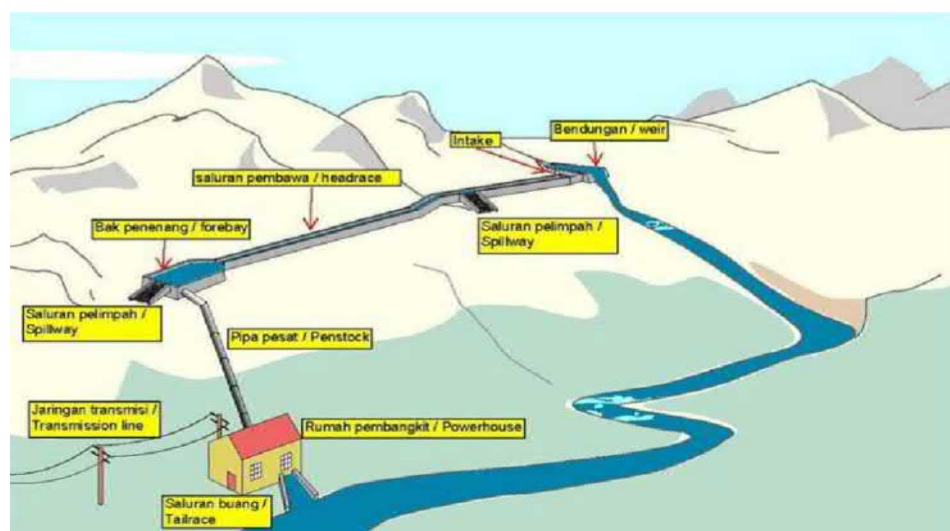
Daya yang dihasilkan oleh generator dapat diperoleh dari perkalian efisiensi turbin dan generator dengan daya yang dihasilkan secara teoritis. Pembangkit listrik dapat berfungsi jika adanya tinggi jatuh air dan debit air. (A.Arismunandar dan S Kuwahara.,1988: 1). Berikut merupakan cara kerja dari PLTMH :

1. Sumber air berasal dari aliran sungai

2. Pembuatan bendungan digunakan untuk menerima aliran air sungai yang ada. Setelah bendungan dibangun, maka aliran air sungai sudah berada di bendungan tersebut.
3. Pembuatan saluran terbuka. Guna saluran terbuka ini yaitu mengalirkan atau mengarahkan aliran air yang terdapat pada bendungan menuju ke bak penenang 1 dengan menggunakan pintu air untuk mengontrol debit air.
4. Aliran air yang telah sampai pada saluran terbuka, akan masuk kedalam bak penenang 1. Bak penenang 1 berfungsi untuk meindahakan partikel-partik yang terdapat didalam air, seperti pasir dan melindungi komponen-komponen berikutnya dari dampak pasir.
5. Setelah aliran air berada dalam bak penenang 1, aliran air akan menuju ke bak penenang 2. Pada bak penenang 2 aliran air dapat distabilkan terlebih dahulu agar tidak terjadi turbelensi air sebelum dialirkan menuju *penstock*. Air yang berlebihan pada bak penenang akan dikeluarkan melalui bak limpasan menuju sungai
6. Pada *penstock*, air dialirkan menuju ke *power house*. *Penstock* berbentuk pipa gunanya untuk mengalirkan aliran air yang telah stabil menuju *power house*. Ukuran *penstock* tergantung pada debit air yang tersedia.
7. Air dari *penstock* menuju *power house* untuk menggerakkan turbin. Pada *power house* terdapat turbin, generator dan *electronic load control*.

8. Air yang telah sampai menuju *power house* secara langsung akan masuk kedalam turbin dan akan mengerjakan baling-baling yang terdapat pada turbin. Turbin akan mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik ( energi gerak).
9. Dari putaran turbin tersebut akan menggerakkan generator dan akan menghasilkan energi listrik. Generator berfungsi untuk mengkonversikan energi mekanik (energi gerak ) menjadi energi listrik.
10. Energi listrik dari generator akan secara masuk menuju *Electronic load control* dan kemudian akan dialirkan menuju jaringan transmisi. Jaringan transmisi ini akan menyalurkan energi listrik menuju ke konsumen/ pelanggan.
11. Air yang telah digunakan untuk menggerakkan turbin akan dibuang pada saluran pembuangan. Saluran pembuangan ini akan mengalirkan menuju sungai atau aliran irigasi lainnya.

### 2.5.1 Gambar Sistematika Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro



Gambar 2.2 Skematik Mikrohidro  
(Sumber: Ikrar Hanggara dan Harvi Irvani., 2017)

### 2.5.1.1 Analisis Sistem PLTMH Secara Umum

Metode perhitungan yang dipakai dalam penentuan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro yaitu sebagai berikut:

#### 2.5.1.1.1 Menghitung Nilai Kapasitor

Untuk menghitung nilai kapasitor, maka dapat dilihat dari data-data pada *nameplate* generator yang ada pada PLTMH Sokokembang Kabupaten Pekalongan

#### 2.5.1.1.2 Menghitung Daya Potensi Air

Debit air sungai, yang merupakan data pokok untuk rencana pusat listrik tenaga air harus diukur secara teliti dan jangka waktu yang sepanjang mungkin. Ada beberapa cara mengukur debit sungai:

1. Kecepatan rata-rata aliran sungai dari penampangnya diukur, kemudian dikalikan dengan luas penampang. Hasil perkalian kecepatan dengan luas penampang tersebut adalah debit sungai.

Berikut merupakan persamaannya

$$Q = V \cdot A$$

Keterangan

Q = debit air

V = kecepatan rata-rata aliran

A = luas penampang

(Sri Sukamta *ea al.*, 2018:29)

2. Debit air diperoleh dari pengamatan tinggi permukaan air, dengan menggunakan lengkungan debit-tinggi-air di gardu pengukur. Berikut merupakan cara mengukur kecepatan aliran air menggunakan alat ukur apung. Alat ukur apung memiliki dua

jenis, yaitu alat ukur apung (*surface float*) dan tongkat ukur apung (*rod float*). Dalam m

3. Metoda ini alat apung dihanyutkan dibagian sungai yang lurus untuk mengetahui kecepatan, kemudian kecepatan aliran rata-rata pada tiap penampang dihitung. Seperti dengan metoda sebelumnya, pengukuran dilakukan dengan membagi penampang melintang sungai menjadi beberapa bagian oleh garis-garis tegak. Kecepatan rata-rata dihitung dengan persamaan berikut

$$v_m = 0,8 \times (\text{kecepatan aliran pada permukaan})$$

dimana,  $V_m$  : kecepatan aliran rata-rata

Pengukuran menggunakan metoda ini cukup memadai apabila permukaan air tinggi dan jika permukaan air berubah dengan cepat sehingga memerlukan pengukuran dalam waktu singkat (A. Arismunandar dan S. Kuwahara., 1988 : 16).

#### 2.5.1.1.3 Menghitung Efisiensi Total

Untuk menghitung efisiensi total pada PLTMH maka diperlukan beberapa data, diantaranya daya, tegangan, dan arus pada setiap fasa. Daya yang terbagi menjadi dua, yaitu daya turbin (daya potensial) dan daya generator (daya terbangkit). Daya yang dibangkitkan generator oleh turbin air adalah

$$\eta = \frac{\rho}{P.Q.H}$$

Keterangan

$\eta$  = efisiensi keseluruhan PLTMH

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

$Q$  = debit air ( $m^3/s$ )  
 $H$  = Tinggi terjun air efektif (m)  
 (Sri Sukamta *ea al.*, 2018:29)

Efisiensi mikrohidro menurut Harvey, yaitu besarnya energi yang hilang dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain kerugian/*losses penstock*

Tabel 2.2 Harga Efisiensi Mikrohidro

No	Efisiensi	Harga (%)
1.	Konstruksi sipil	95%
2.	<i>Penstock</i>	90%
3.	Turbin	80%
4.	Generator	85%
5.	Trafo	96%
6.	Transmisi	90%

Jika tinggi jatuh efektif maksimum adalah  $H$  (m), maka debit air maksimum sebesar  $Q$  ( $m^3/s$ ). Efisiensi turbin dan generator masing-masing sebesar  $\eta_T$  dan  $\eta_G$ , maka

$$\text{Daya teoritis} = 9,8 QH \text{ (kW)}$$

$$\text{Daya turbin} = 9,8 \eta_T QH \text{ (kW)}$$

$$\text{Daya generator} = 9,8 \eta_T \cdot \eta_G QH \text{ (kW)}$$

(A. Arismunandar dan S. Kuwahara., 1988 : 19).

Pada perhitungan efisiensi PLTMH ini nantinya akan diketahui seberapa efisien kinerja PLTMH. nilai efisiensi dipengaruhi oleh nilai variabel yaitu penstock, turbin, dan generator.



$$\text{Eff} = \frac{\text{daya generator (daya terbangkit)}}{\text{daya turbin (daya potensial)}} \times 100\%$$

Keterangan

Eff = efesiensi PLTMH (%)

(Sri Sukamta *ea al.*,2018:31).

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Simpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diuraikan, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Pedoman Teknis Standardisasi Peralatan dan Komponen PLTMH (2008) daya PLTMH 10 kW sampai dengan 120 kW tegangan dan frekuensi terminal rekomendasi 415 Volt, 3 fasa, 50 Hz. Pada penelitian ini nilai ketidakstabilan tegangan tertinggi dan terendah, yaitu 235 volt dan 160 volt. Sedangkan nilai ketidakstabilan frekuensi tertinggi dan terendah, yaitu 51 Hz dan 44 Hz. Ketidakstabilan tegangan dan frekuensi yang terjadi pada PLTMH Soko Kembang Kabupaten Pekalongan diakibatkan oleh pengaruh perubahan arus beban. Arus beban yang berubah-ubah dapat mempengaruhi kecepatan putaran generator. Kecepatan yang berubah-ubah akan mengakibatkan tegangan dan frekuensi yang dihasilkan generator tidak stabil.
2. Solusi agar mendapatkan nilai tegangan dan frekuensi stabil, yaitu dengan menambahkan daya air guna memutar poros turbin dan memutar generator menjadi lebih cepat sehingga dapat memperkecil nilai penurunan tegangan listrik yang diakibatkan oleh rugi-rugi pada turbin dan generator. Daya listrik yang besar dapat menaikkan tegangan dan frekuensi tanpa harus

dengan mengatur beban, serta perlu adanya perbaikan sistem ELC guna mendapatkan nilai kestabilan tegangan dan frekuensi yang lebih efektif.

## **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya, diantaranya yaitu:

1. Dalam pengoperasian PLTMH perlu selalu diperhatikan nilai parameter sesuai dengan standar pada pedoman teknis standardisasi peralatan dan komponen PLTMH sehingga kestabilan tegangan dan frekuensi yang dihasilkan generator dapat terjaga dan bertahan lama dalam pengoperasian.
2. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya, jika nilai tegangan dan frekuensi dalam keadaan tidak stabil dapat melakukan perbaikan pada sistem kontrol PLTMH.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A dan Kuwahara, S. 1988. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik*. Edisi Pertama. Cetakan Kelima. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2019. **Prakiraan Musim Kemarau 2019 Di Indonesia**. Maret: BMKG Jakarta.
- Bandri, Sepannur. 2013. **Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Genertor Sinkron ( Aplikasi Pltg Pauh Limo Padang )**. *Jurna Teknik Elektro 2* (1): 42-48
- Hanggara, I dan Irvani, H. 2010. **Potensi Pltmh (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) Di Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang Jawa Timur**. *Jurnal Reka Buana 2* (2): 149-155.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral RI. 2016. *Buku Profil Sektor ESDM*. Cetakan 1. Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral. Jawa Tengah: Bagian Ketenagalistrikan.
- Kunek, Kornelius. 2015. **Pemodelan Electronic Load Controller Pada Beban Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Merasap**. *Jurnal ELKHA 7*(2): 32-36.
- Linh, Nguyen Tung.2009. **Voltage Stability Analysis of Grids Connected Wind Generators**. IEEE:2657-2660.
- Mahalla., Suharyanto., M. Isnaeni B.S. 2013. **Evaluasi Kinerja IMAG pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Cokro Tulung Kabupaten Klaten**. *JNTETI 2*(4):85-90.
- Marsudi, Djiteng. 2011. *Pembangkitan Energi Listrik*. Edisi Kedua. Cetakan Pertama. Jakarta: Erlangga.
- Paish, O. 2002. **Small Hydro Power: Technology And Current Status**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. UK: 537-556.
- Parastiwi, Andriani. 2014. **Pengaturan Tegangan Dan Frekuensi Pada Motor Induksi Sebagai Generator**. *Jurnal ELTEK 12*(2): 16-29.
- Patty, O.F. 1994. *Tenaga Air*. Edisi Pertama. Cetakan Pertama. Jakarta: Erlangga.
- Rai, Shailendra Kumar., O.P. Rahi., Sunil Kumar.2015. **Implementation of Electronic Load Controller for Control of Micro Hydro Power Plant**. *IEEE*:1-6.

- Standar Perusahaan Listrik Negara Nomor 1 Tahun 1995. *Tegangan-Tegangan Standar*. 25 Agustus 1995. Jakarta.
- Sukamta, S., Henry Ananta., Muhammad Khoirul A. 2018. **Studi Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Kedung Sipingit Desa Kayupuring Kecamatan Petungkriyono Kabupaten Pekalongan**. Edu Elekrika Journal 7(1): 27-33.
- Sugiyono. 2008. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Edisi Pertama. Cetakan Keempat. Bandung: Alfabeta.
- W, Erdyan., Setyo. Rif'an, Mochammad. Dan Utomo, Teguh. 2014. **Perancangan Electronic Load Controller (Elc) Sebagai Penstabil Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh)**. Universitas Brawijaya: 1-6.