

**RANCANG BANGUN ALAT UJI MODEL SISTEM PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) MENGGUNAKAN
TURBIN ALIRAN SILANG**

(skripsi)

Oleh

DEDEK LAMPUTRA SIHALOHO



**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2017

ABSTRAK

RANCANG BANGUN ALAT UJI MODEL SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) MENGGUNAKAN TURBIN ALIRAN SILANG

Oleh

DEDEK LAMPUTRA SIHALOHO

Kelengkapan sarana dan prasarana adalah salah satu yang menentukan dalam proses pembelajaran pada perkuliahan, khususnya di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Selama ini sudah banyak praktikum yang dilakukan di Laboratorium Fluida Teknik Mesin Unila tentang mesin konversi energi dan mesin-mesin fluida. Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah merancang dan membuat model sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) sebagai alat untuk menunjang praktikum mesin-mesin fluida dan prestasi mesin di Laboratorium Fluida Teknik Mesin Universitas Lampung serta mengetahui karakteristik dari turbin air tersebut. Alat yang dibuat dengan tinggi jatuh air dan debit yang berskala laboratorium dengan head 1,75 m dan debit maksimum 0,02 m³/s dan turbin yang digunakan adalah turbin aliran silang (*cross flow*).

Berdasarkan eksperimen diperoleh hasil bahwa pada pengoprasian model sistem PLTMH didapatkan efisiensi sistem PLTMH mencapai 14,21 %. Efisiensi sebuah sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) ditentukan oleh efisiensi turbin, efisiensi generator dan efisiensi transmisinya.

Kata kunci : turbin *cross-flow*, pltmh, alat uji praktikum.

ABSTRACT

INSTRUMENTAL LAB WORK DESIGN OF MICRO HYDROPOWER MODELLING USING CROSS FLOW TURBINE

By

DEDEK LAMPUTRA SIHALOHO

The completeness of infrastructure and tools of laboratory work plays important roles in study of engineering, especially Mechanical Engineering of Lampung University. It has been done many practical works about energy converter machine and fluid machine in Fluid Laboratory of Mechanical Engineering of Lampung University. The purposes of this research are to design a model of Micro Hydro Power as a supporting instrument of the practical work using fluid machine, contribute an achievement for Fluid Laboratory of Mechanical Engineering of Lampung University and also understand the water turbine characteristic within the study. The instrument is arranged as head and debit in laboratory scale with head of 1,75 m and maximum debit of 0,02 m³/s using cross flow turbine.

Based on the experiment it is obtained the efficiency of this micro hydropower modelling system is 14,21 %. Micro hydropower system efficiency is determined by turbine efficiency, generator efficiency, and its transmission efficiency

Key words: cross flow turbine, micro hydropower, instrumental lab work.

**RANCANG BANGUN ALAT UJI MODEL SISTEM PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) MENGGUNAKAN
TURBIN ALIRAN SILANG**

Oleh

DEDEK LAMPUTRA SIHALOHO

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi : RANCANG BANGUN ALAT UJI MODEL
SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)
MENGUNAKAN TURBIN ALIRAN
SILANG

Nama Mahasiswa : Dedek Lamputra S

Nomor Pokok Mahasiswa : 1115021016

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

Jodri B. Sinaga, S.T., M.T.
NIP. 197101271998031004

M. Dian Susila E.S., S.T., M.T.
NIP. 19801001 200812 1001

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP. 1974080162000121001

MENGESAHKAN

1. Tim penguji

Ketua Penguji : Jorfri B. Sinaga, S.T, M.T.

Anggota Penguji : M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng.

Penguji Utama : Agus Sugiri, S.T., M.Eng.

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP: 196207171987031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 27 Februari 2017

PERNYATAAN PENULIS

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN
HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27
PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT
KEPUTUSAN REKTOR No. 3187/H26/DT/2010



MEMBUAT PERNYATAAN

DEDEK LAMPUTRA S
NPM: 1115021016

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Seputih Mataram, Lampung Tengah, pada tanggal 27 Februari tahun 1994, sebagai anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan S. Sihaloho dan R. Br. Simarmata.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Banjar Agung, Seputih Mataram pada tahun 2005, SMP di SMPN 1 Seputih Mataram pada tahun 2008, SMAN 1 Seputih Mataram pada tahun 2011, dan pada tahun 2011 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Kemudian pada bidang akademik, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. Garuda Bumi Perkasa, Mesuji Lampung pada tahun 2014. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Lembaga Kemahasiswaan diantaranya ditingkat jurusan penulis sebagai anggota divisi kaderisasi dalam Himpunan Mahasiswa Teknik mesin (HIMATEM) Universitas Lampung periode 2013–2014. Ditingkat fakultas penulis diamanahkan sebagai ketua pelaksana perayaan Natal Tahun 2013. Penulis sempat mendapat kepercayaan sebagai asisten praktikum prestasi mesin-mesin fluida dilaboratorium terpadu Jurusan teknik Mesin Universitas Lampung. Pada skripsi ini penulis melakukan penelitian pada bidang konsentrasi konversi energi dengan judul **“Rancang Bangun Alat Uji Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Aliran Silang”** di bawah bimbingan Bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T.,M.T. dan Bapak M. Dyan Susila ES, S.T.,M.Eng.



**KARYA INI
KUPERSEMBAHKAN**

Kedua Orang Tuaku Tercinta

Ayahanda (S. Sihaloho) Ibunda (R. Br. simarmata)

keluargaku

Abang P. Jovianda Sihaloho Sekeluarga

Abang P. Clarisha Sihaloho Sekeluarga

Abang P. Janssen Sihaloho Sekeluarga

Almamater Tercinta

Teknik Mesin Universitas Lampung

MOTTO

“ Jangan Sedikit Pun Kau Hilangkan Suatu Kebaikan Walaupun Kebaikan Yang Kau Lakukan Tidak Di Anggap Buruk Orang Lain Ataupun Di Balas Kejahatan Sekalipun. ”

(MOTHER THERESA)

“ Hidup Adalah Perjalanan, Bukan Mencari Pemenang Tapi Jalanilah Hidup Dengan Kesabaran Sampai Pada Akhir. ”

(DEDEK LAMPUTRA SIHALOHO)

SANWACANA

Salam Sejahtera

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan YME atas berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “*Rancang Bangun Alat Uji Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Aliran Silang*”. Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tidak terlepas dari banyak dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini penulis sampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ahmad Suudi, S.T.,M.T. selaku ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T, M.T. selaku pembimbing utama tugas akhir, yang telah banyak meluangkan waktu, ide, perhatian dan sabar untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng., selaku pembimbing kedua tugas akhir ini, yang telah banyak mencurahkan waktu dan fikirannya bagi penulis serta motivasi yang diberikan.
5. Bapak Agus Sugiri, S.T., M.Eng., selaku pembahas tugas akhir ini, yang telah banyak meberikan kritik dan saran yang sangat bermanfaat bagi penulis.

6. Seluruh Dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
7. Mas marta selaku admin yang telah banyak membantu penulis dalam mengurus administrasi di jurusan.
8. Mas Gimam selaku Teknisi Lab, yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan studi baik dilab maupun dilapangan.
9. Mas Dadang, mas Nanang yang telah banyak membantu penulis dalam menyiapkan ruang untuk seminar.
10. Sahabat-sahabat seperjuangan Teknik Mesin 2011 dengan Korewanya yang selalu bersama-sama dalam susah dan senang.
11. Nilam sari Sitorus, yang telah memberikan semangat penulis agar segera menyelesaikan studi.
12. Tim TA Arief Rahmah S dan Sidik Utama yang telah bersusah payah menyelesaikan proyek akhir ini.
13. Keluarga besar Teknik Mesin 2012 dan 2013 atas kerjasamanya.
14. M. Iqbal, yayan dan mas ogen yang telah banyak membantu.

Sekian dan terimakasih.

Bandar Lampung, 27 Februari 2017

Dedek Lamputra S

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian.....	2
C. Batasan Masalah.....	3
D. Sistematika Penulisan Laporan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Mikro Hidro.....	5
1. Pengertian mikrohidro	5
2. Prinsip kerja PLTMH	5
3. Konversi energi PLTMH	6
4. Bagian-bagian PLTMH	6
B. Turbin Air.....	12
C. Klasifikasi Turbin.....	12
1. Berdasarkan model aliran air masuk runner	13
2. Berdasarkan perubahan momentum fluida kerjanya	13
3. Berdasarkan kecepatan spesifik (n_s)	23
4. Berdasarkan <i>Head</i> dan Debit.....	23
D. Turbin Aliran Silang.....	24
1. Tentang turbin aliran silang.....	24
2. Karakteristik Turbin aliran Silang	27
3. Perhitungan Daya sudu	28
E. Roda Gila (<i>Fly Wheel</i>).....	37
1. Definisi Roda Gila	37
2. Menentukan Berat Roda Gila	38

F. Sistem Transmisi	40
1. Transmisi rantai- <i>sproket</i> (<i>chain and sprocket</i>)	40
2. Transmisi sabuk-puli (<i>belt and pulley</i>)	41
3. Analisa Perhitungan <i>Pulley</i> dan Sabuk	42

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	45
B. Perancangan dan pembuatan alat uji turbin aliran silang	45
1. Tahap Persiapan	45
2. Tahap Perancangan dan Pembuatan Alat	45
C. Alat dan Bahan yang Digunakan	47
1. Alat dan Bahan yang Digunakan	47
D. Pengujian Rancangan Model Sistem PLTMH	52
E. Prosedur Pengambilan Data	52
F. Analisis Data	53
G. Pengolahan Data	54
H. Diagram Alur Penelitian Tugas Akhir	56

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rancangan Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)	57
B. Hasil Pengujian Model Sistem PLTMH	59
C. Pembahasan Hasil Pengujian Model Sistem PLTMH	66

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	98
B. Saran	99

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
1	Kecepatan spesifik turbin.....	23
2	Contoh tabel pengambilan data hasil pengujian pada turbin aliran Silang.....	54
3	Hasil perhitungan nilai faktor gesekan.....	61
4	Nilai kerugian energi untuk beberapa laju aliran pada pengujian sistem PLTMH	63
5	Jumlah sudu 17 buah	64
6	Jumlah sudu 18 buah	65
7	Jumlah sudu 19 buah	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
1	Sistem PLTMH.	6
2	Sistem PLTMH skala besar.	7
3	Bendungan.	8
4	Saringan.	8
5	<i>Intake</i>	9
6	<i>Penstok</i>	9
7	Turbin.	10
8	Generator.	11
9	Instalasi PLTMH.	12
10	Turbin impuls dan proses penyemprotan.	14
11	Roda jalan turbin pelton.	15
12	Instalasi turbin pelton poros horizontal.	16
13	Instalasi turbin pelton poros vertikal.	16
14	Pengaturan nosel pada turbin pelton.	17
15	Konstruksi turbin Ossberger.	18
16	Aliran air masuk turbin Ossberger.	19
17	Aliran air masuk turbin francis.	20
18	Instalasi turbin francis.	21
19	Turbin kaplan dengan sudu jalan yang dapat diatur.	22
20	Instalasi pembangkit dengan turbin Kaplan.	22
21	Gambar turbin aliran silang.	24
22	Effisiensi beberapa turbin dengan pengurangan debit sebagai variabel.	26
23	Segitiga kecepatan lintasan air melewati turbin.	29
24	Menentukan head sumber.	33
25	Diagram Moody.	35
26	Kurva karakteristik unjuk kerja turbin air.	37
27	Rantai dan <i>gear</i>	40
28	Transmisi <i>pulley</i> dan sabuk.	42
29	Ilustrasi dimensi jarak antara puli.	42
30	Sketsa rancangan model sistem PLTMH.	46
31	Turbin <i>cross flow</i>	47
32	<i>Pulley</i>	48
33	Generator.	48

34	Multimeter.....	49
35	Tacho Meter.	49
36	Pipa PVC.....	50
37	Besi Hollow.	50
38	Katup.....	51
39	Bak penampung air.	51
40	Roda gila.	52
41	Diagram alur penelitian tugas akhir.	57
42	Gambar model sistem PLTMH.	59
43	Grafik hubungan daya yang dihasilkan generator terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,0031 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1 kg.....	70
44	Grafik hubungan daya yang dihasilkan generator terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1 kg.....	71
45	Grafik hubungan daya yang dihasilkan generator terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1 kg.....	72
46	Grafik hubungan daya yang dihasilkan generator terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,0031 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1,2 kg.....	74
47	Grafik hubungan daya yang dihasilkan generator terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1,2 kg.....	75
48	Grafik hubungan daya yang dihasilkan generator terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1,2 kg.....	76
49	Grafik hubungan daya yang dihasilkan generator terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,0031 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1,4 kg.....	78
50	Grafik hubungan daya yang dihasilkan generator terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1,4 kg.....	79
51	Grafik hubungan daya yang dihasilkan generator terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1,4 kg.....	80
52	Grafik hubungan efisiensi model sistem PLTMH terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,0031 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1 kg.....	82
53	Grafik hubungan efisiensi model sistem PLTMH terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1 kg.....	83
54	Grafik hubungan efisiensi model sistem PLTMH terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1 kg.....	84
55	Grafik hubungan efisiensi model sistem PLTMH terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,0031 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1,2 kg.....	86
56	Grafik hubungan efisiensi model sistem PLTMH terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1,2 kg.....	87

57	Grafik hubungan efisiensi model sistem PLTMH terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1,2 kg.....	88
58	Grafik hubungan efisiensi model sistem PLTMH terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,0031 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1,4 kg.....	90
59	Grafik hubungan efisiensi model sistem PLTMH terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1,4 kg.....	91
60	Grafik hubungan efisiensi model sistem PLTMH terhadap putaran turbin pada laju aliran $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ dan berat <i>flywheel</i> 1,4 kg.....	92
61	Grafik hubungan laju aliran volume air terhadap efisiensi yang dihasilkan pada pembebanan 1 kg.....	94
62	Grafik hubungan laju aliran volume air terhadap efisiensi yang dihasilkan pada pembebanan 1,2 kg.....	95
63	Grafik hubungan laju aliran volume air terhadap efisiensi yang dihasilkan pada pembebanan 1,4 kg.....	96

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kelengkapan sarana dan prasarana adalah salah satu yang menentukan dalam proses pembelajaran pada perkuliahan, khususnya di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Di dalam perkuliahan juga banyak mata kuliah yang diajarkan, maupun praktikum yang bertujuan untuk membandingkan hasil teori yang didapat dengan aktualnya. Selama ini sudah banyak praktikum yang dilakukan di Laboratorium Fluida Teknik Mesin Unila tentang mesin konversi energi dan mesin-mesin fluida. Sebagai salah satu contohnya ada pada praktikum prestasi mesin pada prodi S1 dan mesin-mesin fluida pada prodi D3. Pada kegiatannya, dalam praktikum mekanika fluida yang dikhususkan untuk mempelajari prinsip kerja dari mesin-mesin fluida ini, namun kenyataannya belum cukup memadai. Hal ini diakibatkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah terbatasnya dana yang dianggarkan oleh pihak universitas untuk menyediakan peralatan praktikum di Laboratorium.

Oleh sebab itu perlu dibuat sebuah alat uji yang menggunakan beban output yang lebih riil lagi, dalam hal ini penulis bermaksud untuk membuat sebuah alat uji tentang sebuah mesin konversi energi yang langsung menghasilkan energi listrik yang di manfaatkan untuk menyalakan lampu.

Alat uji yang digunakan pada penelitian ini merupakan pengembangan yang telah dilakukan Hendy(2012) dengan menghubungkan turbin ke generator sebagai pembangkit, dan perangkat penelitian dibuat dalam skala laboratorium. Rancang bangun model alat uji sistem PLTMH menggunakan turbin aliran silang ini dibuat untuk memenuhi kebutuhan mahasiswa untuk membandingkan teori - teori tentang sistem PLTMH yang nantinya akan menambah pengetahuan dan kemampuan mahasiswa Teknik Mesin Unila tentang Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dan untuk mendukung dari apa yang telah didapatkan mahasiswa dalam teori-teori yang telah didapatkan di perkuliahan.

B. Tujuan

Adapun tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang dan membuat model sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) sebagai alat untuk menunjang praktikum mesin-mesin fluida untuk Diploma dan prestasi mesin untuk S1 di Laboratorium Fluida Teknik Mesin Universitas Lampung.
2. Melakukan pengujian karakteristik terhadap model sistem PLTMH. Adapun hasil yang ingin diketahui dari pengujian ini adalah sebagai berikut:
 - a. Mengetahui hubungan daya turbin dan efisiensi turbin terhadap variasi debit aliran dan pembebanan.
 - b. Membuat kurva hubungan debit aliran terhadap daya turbin.
 - c. Membuat kurva hubungan debit aliran terhadap efisiensi turbin.
 - d. Membuat kurva hubungan putaran turbin terhadap daya generator

- e. Membuat kurva hubungan putaran turbin terhadap efisiensi sistem.

C. Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan pada kajian ini sebagai berikut :

1. Alat yang dibuat dengan tinggi jatuh air dan debit yang berskala laboratorium dengan *head* 1,75 m dan debit maksimum 0,02 m³/s.
2. Turbin yang digunakan adalah turbin aliran silang (*Cross Flow*).

D. Sistematika Penulisan Laporan

Isi dari proposal tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab dengan substansi yang berbeda-beda sebagai berikut :

I. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan latar belakang dilakukannya penelitian yang perlu dibuatnya sebuah alat uji yang menggunakan beban output yang lebih riil lagi. Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi permasalahan energi dan lingkungan dengan lebih menfokuskan pada penambahan turbin khususnya turbin air. Selain itu, penelitian ini dibatasi dalam beberapa hal yang terdapat pada batasan masalah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan referensi yang dijadikan sebagai landasan teori dalam melakukan penelitian, dimana sub bab pertama menerangkan tentang mikrohidro. Pada sub bab selanjutnya menerangkan tentang turbin air.

Sub bab ke 3 menjelaskan klasifikasi turbin , turbin cross-flow dan perhitungan segitiga kecepataannya.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tempat dan waktu melakukan pengujian, tahapan pengujian, alat dan bahan pengujian, rangkaian alat pengujian, metode pengujian, alur pengambilan data, dan variabel pengujian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menerangkan tentang hasil penelitian berupa data yang dilakukan dalam penelitian seperti kuat arus dan tegangan yang didapat dari pembangkit yang diputar oleh turbin.

V. PENUTUP

Bab ini menguraikan intisari dari semua analisa data percobaan, termasuk saran yang berisikan uraian informasi.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan tentang literatur-literatur referensi yang digunakan dalam penulisan dan penyusunan dalam laporan inti.

LAMPIRAN

Berisikan data-data yang mendukung dalam penyusunan laporan ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Mikrohidro

1. Pengertian Mikrohidro

Mikrohidro berasal dari kata *micro* yang berarti kecil dan *hydro* artinya air, arti keseluruhan adalah pembangkitan listrik daya kecil yang digerakkan oleh tenaga air. Tenaga air berasal dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik.

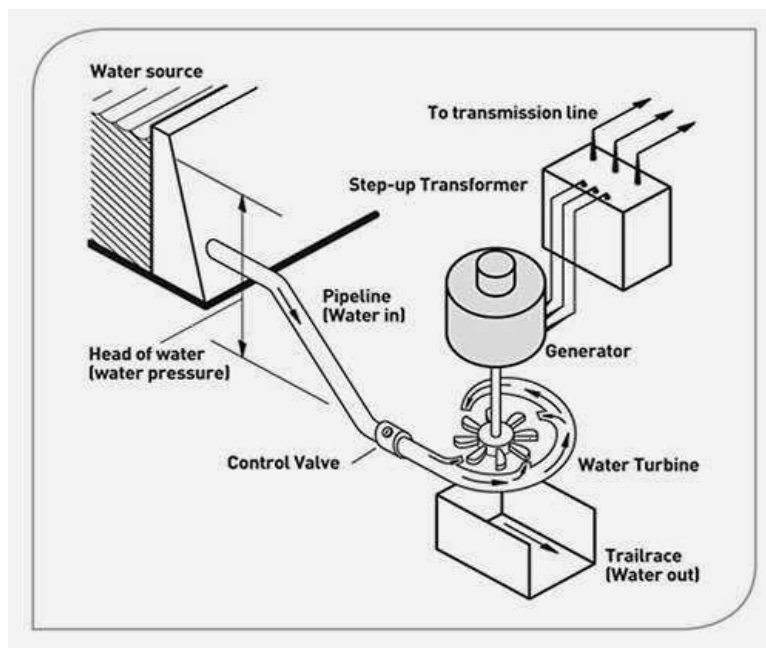
Generator yang digunakan untuk mikrohidro dirancang mudah untuk dioperasikan dan dipelihara, didesain menunjang keselamatan, tetapi peralatan dari listrik akan menjadi berbahaya bila tidak digunakan dengan baik.

2. Prinsip Kerja PLTMH

Pembangkit tenaga listrik mikrohidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik.

3. Konversi Energi PLTMH

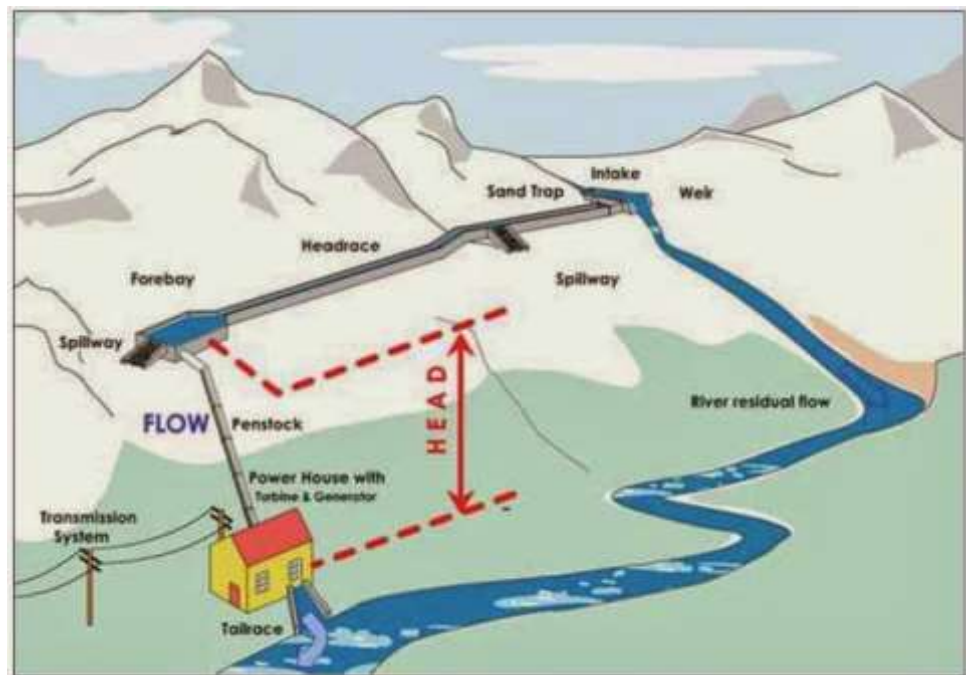
Energi adalah sesuatu yang bersifat abstrak yang sukar dibuktikan tetapi dapat dirasakan adanya. Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja. Energi air berasal dari hujan yang turun di pegunungan yang menghasilkan energi potensial air, kemudian energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada poros turbin. (Pudjanarsa, 2006).



Gambar 1. Sistem PLTMH.

4. Bagian-Bagian PLTMH

Beberapa komponen yang digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro baik komponen utama maupun bangunan penunjang antara lain:



Gambar 2. Sistem PLTMH skala besar.

a. Waduk (*reservoir*)

Waduk adalah danau yang dibuat untuk membandung sungai untuk memperoleh air sebanyak mungkin sehingga mencapai elevasi.

b. Bendungan (dam)

Dam berfungsi menutup aliran sungai – sungai sehingga terbentuk waduk. Tipe bendungan harus memenuhi syarat topografi, geologi dan syarat lain seperti bentuk serta model bendungan.



Gambar 3. Bendungan.

c. Saringan (*Sand trap*)

Saringan ini dipasang didepan pintu pengambilan air, berguna untuk menyaring kotoran – kotoran atau sampah yang terbawa sehingga air menjadi bersih dan tidak mengganggu operasi mesin PLTMH.



Gambar 4. Saringan.

d. Pintu pengambilan air (*Intake*)

Pintu pengambilan air berfungsi mengatur banyaknya air yang masuk saluran dan mencegah masuknya benda-benda padat dan kasar kedalam saluran.



Gambar 5. *Intake*.

e. Pipa pesat (*penstok*)

Pipa pesat adalah penyalur air dari *head tank* yang akan memutar turbin. *Penstock* dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah turbin.



Gambar 6. *Penstok*.

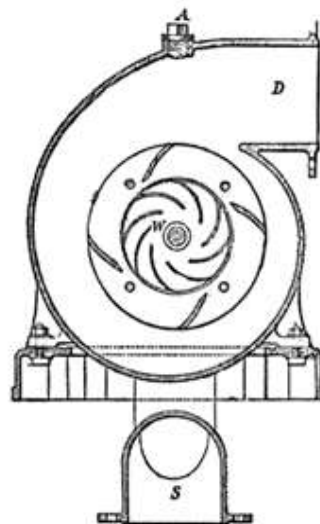
f. Katup utama (*main value atau inlet value*)

Katub utama dipasang di depan turbin berfungsi untuk membuka aliran air, memulai turbin atau menutup aliran (menghentikan turbin). Katup utama ditutup saat perbaikan turbin atau perbaikan mesin dalam rumah pembangkit. Pengaturan tekanan air pada katup utama digunakan pompa hidrolik.

g. *Power house*

Gedung sentral merupakan tempat instalasi turbin air, generator, peralatan bantu, ruang pemasangan, ruang pemeliharaan dan ruang kontrol. Beberapa instalasi PLTMH dalam rumah pembangkit adalah :

- 1) Turbin, merupakan salah satu bagian penting dalam PLTMH yang menerima energi potensial air dan mengubahnya menjadi putaran (energi mekanis). Putaran turbin dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik.



Gambar 7. Turbin.

- 2) Generator, generator yang digunakan adalah generator pembangkit listrik AC. Untuk memilih kemampuan generator dalam menghasilkan energi listrik disesuaikan dengan perhitungan daya dari data hasil survei. Kemampuan generator dalam menghasilkan listrik biasanya dinyatakan dalam Volt Ampere (VA) atau dalam kilo Volt Ampere (kVA).



Gambar 8. Generator.

- 3) Penghubung turbin dengan generator, penghubung turbin dengan generator atau sistem transmisi energi mekanik ini dapat digunakan sabuk atau puli, roda gigi atau dihubungkan langsung pada porosnya.
- Sabuk atau puli digunakan jika putaran per menit (rpm) turbin belum memenuhi putaran rotor pada generator, jadi puli berfungsi untuk menurunkan atau menaikkan rpm motor generator.
 - Roda gigi mempunyai sifat yang sama dengan puli.
 - Penghubung langsung pada poros turbin dan generator, jika putaran turbin sudah lama dengan putaran rotor pada generator.
- (Arismunandar , 2004).



Gambar 9. Instalasi PLTMH.

B. Turbin Air

Kata turbin air diungkapkan pertama kali (Burdin, 1873) menjelaskan subjek dari kompetisi teknik mengenai sumber tenaga air. Kata tersebut berasal dari bahasa latin turbo, turbinis, yang berarti putaran atau puntiran. Definisi turbin yang tepat adalah mesin yang berputar dimana air bergerak secara relatif ke permukaan tersebut, sehingga menghasilkan gerakan pada mesin.

Secara umum turbin air adalah alat yang mengubah energi aliran air menjadi energi mekanik yaitu putaran poros. Putaran poros ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai hal, sebagian besar putaran poros turbin air dimanfaatkan untuk memutar generator sebagai pembangkit tenaga listrik.

C. Klasifikasi Turbin

Dengan kemajuan ilmu mekanika fluida dan hidrolika serta memperhatikan sumber energi air yang cukup banyak tersedia di pedesaan akhirnya timbulah

perencanaan-perencanaan turbin yang divariasikan terhadap tinggi jatuh (*head*) dan debit air yang tersedia. Dari itu maka masalah turbin air menjadi masalah yang menarik dan menjadi objek penelitian untuk mencari sistem, bentuk, dan ukuran yang tepat dalam usaha mendapatkan efisiensi turbin yang maksimum.

Pada uraian berikut akan dijelaskan pengklasifikasian turbin air berdasarkan beberapa kriteria.

1. Berdasarkan model aliran air masuk *runner*.

Berdasarkan model aliran air masuk *runner*, maka turbin air dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu:

- a. Turbin aliran tangensial

Pada kelompok ini posisi air masuk roda gerak dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros *runner* mengakibatkan roda gerak berputar, contohnya turbin pelton dan turbin *cross-flow*.

- b. Turbin aliran aksial

Pada turbin ini air masuk roda gerak dan keluar roda gerak sejajar dengan poros roda gerak, turbin kaplan atau propeller adalah salah satu contoh dari tipe turbin ini.

- c. Turbin aksial-radial

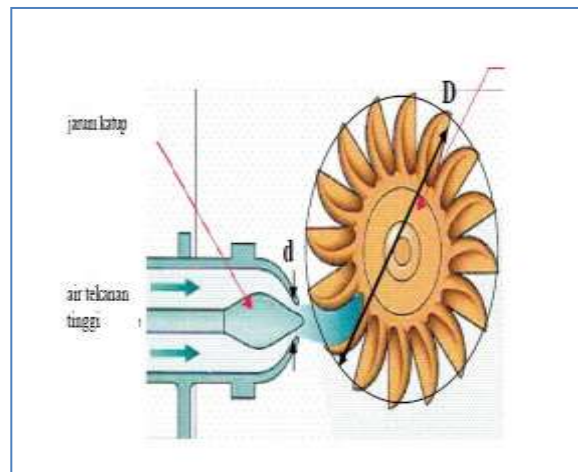
Pada turbin ini air masuk ke dalam roda gerak secara radial dan keluar roda gerak secara aksial sejajar dengan poros. Turbin francis adalah termasuk dari jenis turbin ini.

2. Berdasarkan perubahan momentum fluida kerjanya

- a. Turbin impuls atau turbin tekanan sama

1) Turbin pelton

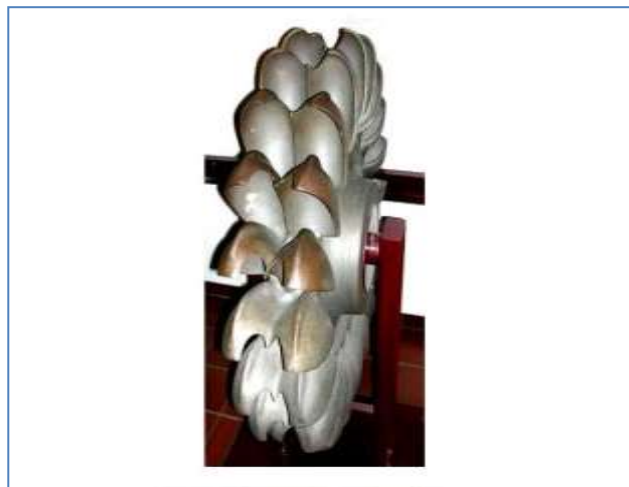
Prinsip dari turbin impuls sudah dijelaskan pada kincir air. Turbin impuls bekerja dengan prinsip impuls. Turbin jenis ini juga disebut turbin tekanan sama karena aliran air yang ke luar dari nosel, tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer. Sebagai contoh pada Gambar 10 adalah turbin pelton yang bekerja dengan prinsip impuls, semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin diubah menjadi energi kecepatan. Pancaran air tersebut yang akan menjadi gaya tangensial F yang bekerja pada sudu roda jalan.



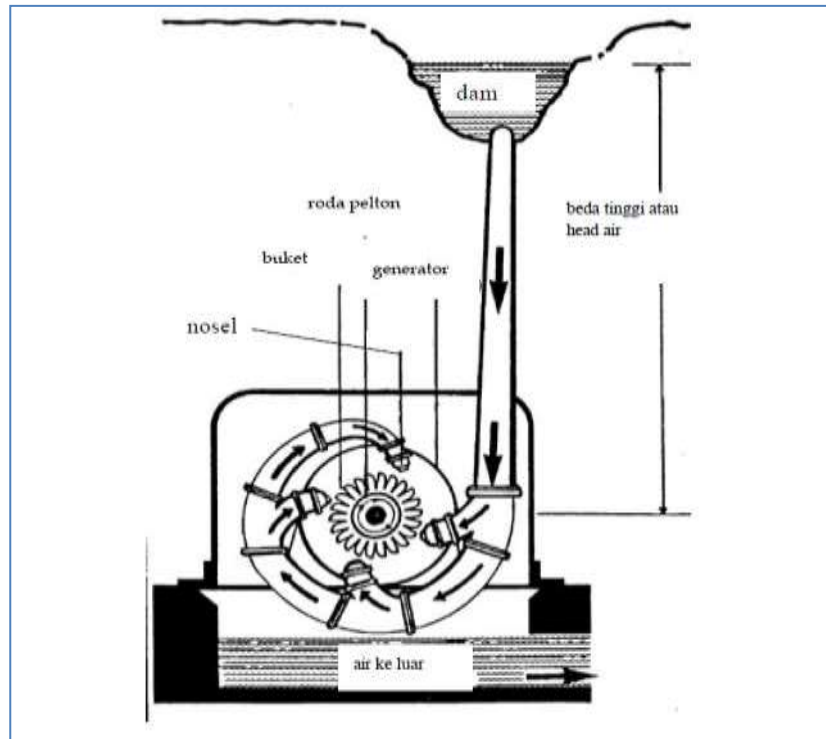
Gambar 10. Turbin impuls dan proses penyemprotan.

Turbin pelton beroperasi pada tinggi jatuh yang besar Gambar 12. Tinggi air jatuh dihitung mulai dari permukaan atas sampai tengah tengah pancaran air. Bentuk sudu terbelah menjadi dua bagian yang simetris, dengan maksud adalah agar dapat membalikan pancaran air dengan baik dan membebasan sudu dari gaya-gaya samping Gambar 11. Tidak semua sudu menerima pancaran air,

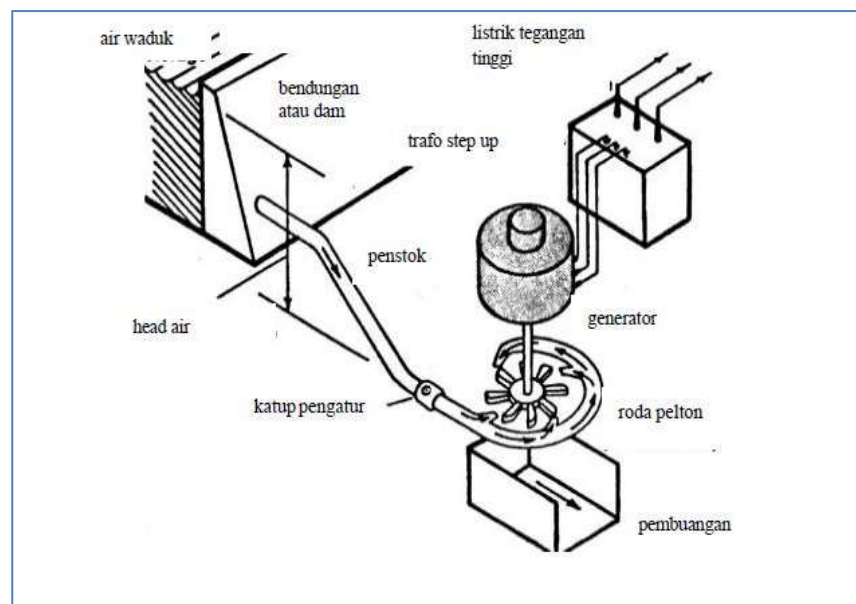
hanya sebgaiian jarum katup air tekanan tinggi bagaiian saja scara bergantian bergantung posisi sudut tersebut. Jumlah noselnya bergantung kepada besarnya kapasitas air, tiap roda turbin dapat dilengkapi dengan nosel 1 sampai 6. Adapun penampang konstruksi sudu jalan dari pelton beserta noselnya dapat dilihat pada Gambar 10. Ukuran-ukuran utama turbin pelton adalah diameter lingkkar sudu yang kena pancaran air, disingkat diameter lingkaran pancar dan diameter pancaran air. Pengaturan nosel akan menentukan kecepatan dari turbin. Untuk turbin-turbin yang bekerja pada kecepatan tinggi jumlah nosel diperbanyak Pengaturan nosel pada turbin poros vertikal dan horizontal dapat dilihat pada Gambar 12 dan 13.



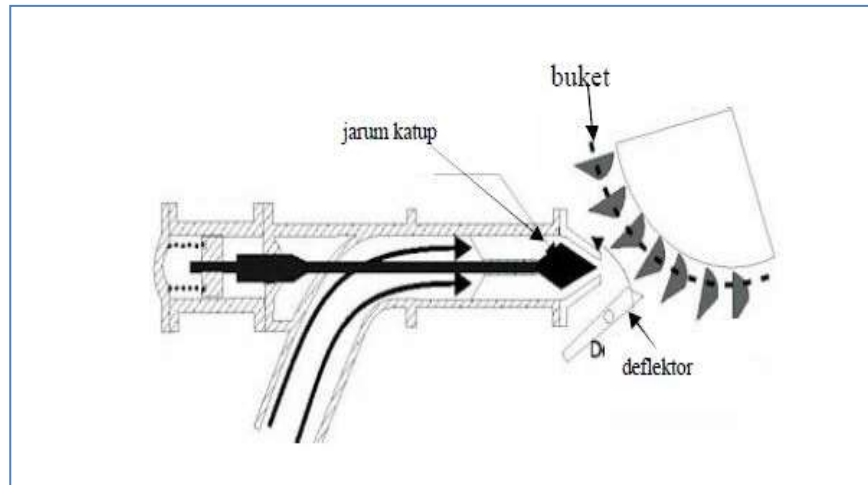
Gambar 11. Roda jalan turbin pelton.



Gambar 12. Instalasi turbin pelton poros horizontal.



Gambar 13. Instalasi turbin pelton poros vertikal.



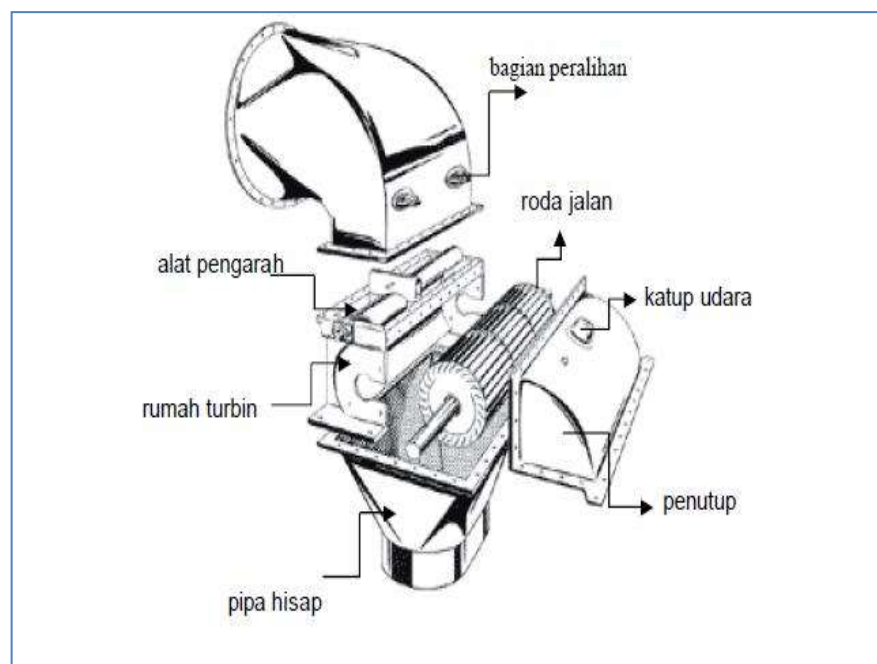
Gambar 14. Pengaturan nosel pada turbin pelton.

2) Turbin aliran ossberger

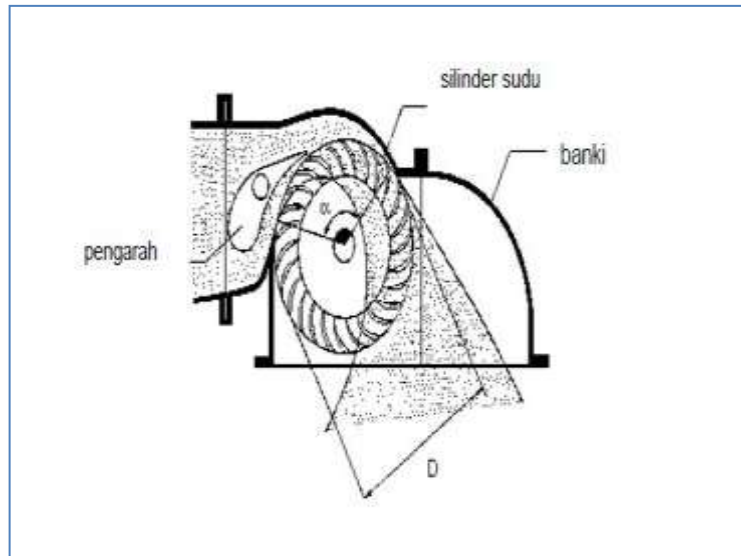
Pada turbin impuls pelton beroperasi pada *head* relatif tinggi, sehingga pada *head* yang rendah operasinya kurang efektif atau efisiensinya rendah. Karena alasan tersebut, turbin pelton jarang dipakai secara luas untuk pembangkit listrik skala kecil. Sebagai alternatif turbin jenis impuls yang dapat beroperasi pada *head* rendah adalah turbin impuls aliran ossberger atau turbin *cross flow*. Pada Gambar 15 adalah turbin *crossflow*, konstruksi turbin ini terdiri dari komponen utama yaitu ;

1. Rumah turbin
2. Alat pengarah
3. Roda jalan
4. Penutup
5. Katup udara
6. Pipa hisap
7. Bagian peralihan

Aliran air dilewatkan melalui sudu sudu jalan yang berbentuk silinder, kemudian aliran air dari dalam silinder ke luar melalui sudu-sudu. Jadi perubahan energi aliran air menjadi energi mekanik putar terjadi dua kali yaitu pada waktu air masuk silinder dan air ke luar silinder. Energi yang diperoleh dari tahap kedua adalah 20% nya dari tahap pertama.



Gambar 15. Kontruksi turbin Ossberger.



Gambar 16. Aliran air masuk turbin Ossberger.

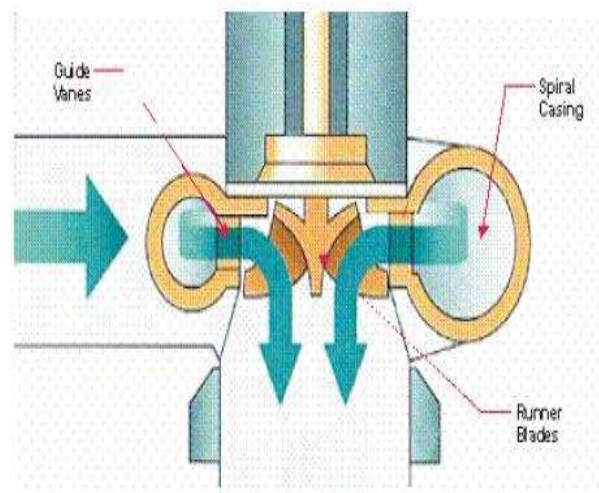
Air yang masuk sudu diarahkan oleh alat pengarah yang sekaligus berfungsi sebagai nosel seperti pada turbin pelton. Prinsip perubahan energi adalah sama dengan turbin impuls pelton yaitu energi kinetik dari pengarah dikenakan pada sudu-sudu pada tekanan yang sama.

b. Turbin reaksi atau turbin tekan lebih

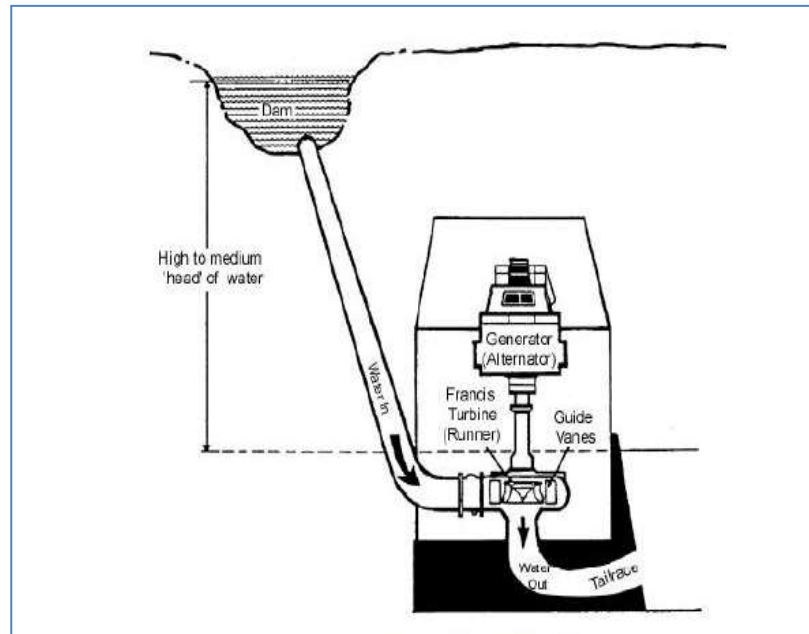
1) Turbin Francis

Turbin francis adalah termasuk turbin jenis ini Gambar 17. Konstruksi turbin terdiri dari dari sudu pengarah dan sudu jalan, dan kedua sudu tersebut, semuanya terendam di dalam aliran air. Air pertama masuk pada terusan berbentuk rumah keong. Perubahan energi seluruhnya terjadi pada sudu pengarah dan sudu gerak. Aliran air masuk ke sudu pengarah dengan kecepatan semakin naik dengan tekanan yang semakin turun sampai roda jalan,

pada roda jalan kecepatan akan naik lagi dan tekanan turun sampai di bawah 1 atm. Untuk menghindari kavitasi, tekanan harus dinaikan sampai 1 atm dengan cara pemasangan pipa hisap. Pengaturan daya yang dihasilkan yaitu dengan mengatur posisi pembukaan sudu pengarah, sehingga kapasitas air yang masuk ke roda turbin dapat diperbesar atau diperkecil. Turbin francis dapat dipasang dengan poros vertikal dan horizontal.



Gambar 17. Aliran air masuk turbin francis.

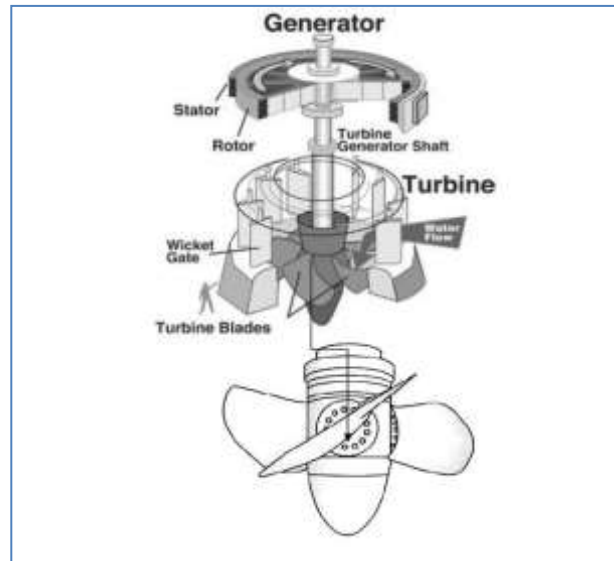


Gambar 18. Instalasi turbin francis.

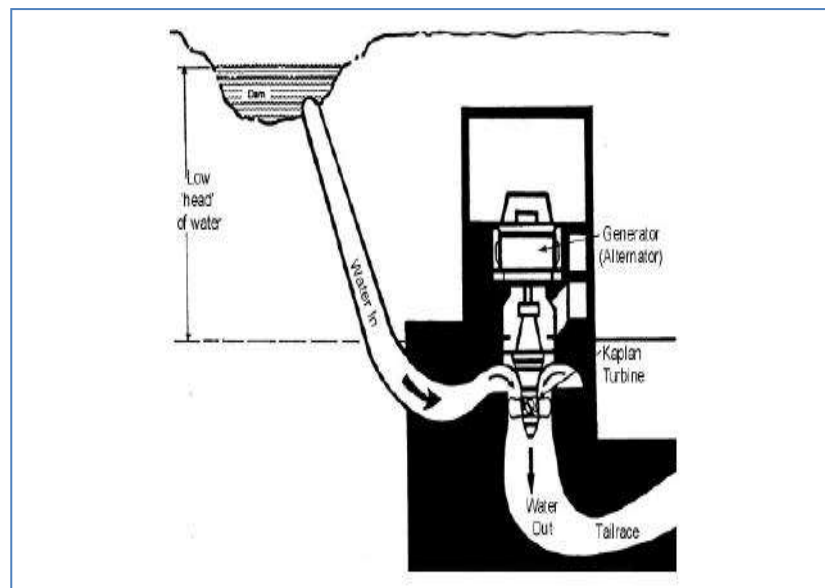
2) Turbin kaplan

Tidak berbeda dengan turbin francis, turbin kaplan cara kerjanya menggunakan prinsip reaksi. Turbin ini mempunyai roda jalan yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang Gambar 19. Bila baling-baling pesawat terbang berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong, roda jalan pada kaplan berfungsi untuk mendapatkan gaya F yaitu gaya putar yang dapat menghasilkan torsi pada poros turbin. Berbeda dengan roda jalan pada francis, sudu-sudu pada roda jalan kaplan dapat diputar posisinya untuk menyesuaikan kondisi beban turbin Gambar 19. Turbin kaplan banyak dipakai pada instalasi pembangkit listrik tenaga air sungai, karena turbin ini mempunyai kelebihan dapat menyesuaikan *head* yang berubah-ubah sepanjang tahun. Turbin kaplan dapat beroperasi pada

kecepatan tinggi sehingga ukuran roda turbin lebih kecil dan dapat dikopel langsung dengan generator. Pada kondisi pada beban tidak penuh turbin kaplan mempunyai efisiensi paling tinggi, hal ini dikarenakan sudu-sudu turbin kaplan dapat diatur menyesuaikan dengan beban yang ada.



Gambar 19. Turbin kaplan dengan sudu jalan yang dapat diatur.



Gambar 20. Instalasi pembangkit dengan turbin kaplan.

3. Berdasarkan kecepatan spesifik (n_s)

Yang dimaksud dengan kecepatan spesifik dari suatu turbin ialah kecepatan putar roda gerak yang dapat dihasilkan daya efektif 1 BHP untuk setiap tinggi jatuh 1 meter attain dengan rumus dapat ditulis (Patty, 1995):

$$n_s = N_e^{1/2} / H_{efs}^{5/4} \quad (1)$$

Dimana: n_s = kecepatan spesifik turbin

n = kecepatan putar turbin (rpm)

H_{efs} = tinggi jatuh efektif (m)

N_e = daya efektif (HP)

Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik masing-masing. Table 1.

Menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin konvensional.

Tabel 1. Kecepatan spesifik turbin.

NO.	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
1	Pohon dan Kincir Air	10-35
2	Francis	60-300
3	<i>Cross-flow</i>	70-80
4	Kaplan dan Propeller	300-1000

4. Berdasarkan *Head* dan Debit

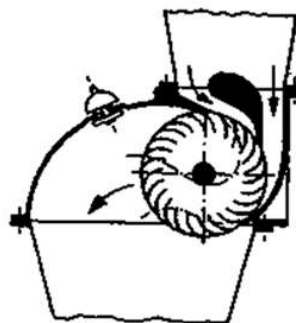
Dalam hal ini pengoperasian turbin air disesuaikan dengan potensi *head* dan debit yang ada yaitu:

- a. Tinggi jatuh yang rendah yaitu dibawah 40 meter tetapi debit air yang besar , maka turbin Kaplan atau propeller yang cocok digunakan untuk kondisi seperti ini.
- b. Tinggi jatuh yang sedang antara 20 sampai 200 meter dan debit relative cukup, maka untuk kondisi seperti ini gunakanlah turbin francis atau *cross-flow*.
- c. Tinggi jatuh yang tinggi yakni di atas 200 meter dan debit sedang, maka gunakanlah turbin impuls jenis pelton.

D. Turbin Aliran Silang

1. Tentang Turbin Aliran Silang

Turbin *cross-flow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse* turbin). Prinsip kerja turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M Michell pada tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama turbin Banki dan terkadang disebut juga turbin Michell-Ossberger (Haimerl, 1960).

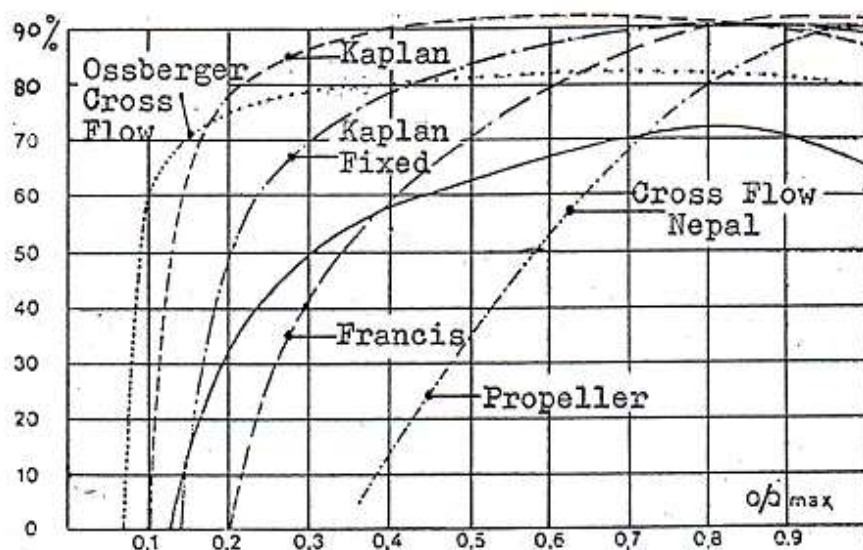


Gambar 21. Gambar turbin aliran silang.

Pemakaian jenis turbin *cross-flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50% dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran *cross-flow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air. Diameter kincir air yakni roda jalan atau *runnernya* biasanya 2 m ke atas, tetapi diameter turbin *cross-flow* dapat dibuat hanya 20 cm saja sehingga bahan-bahan yang jauh lebih sedikit, itulah sebabnya bisa lebih murah. Demikian juga daya guna atau efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi dari pada daya guna kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik Ossberger Jerman Barat yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70% sedang efisiensi turbin *cross-flow* mencapai 82% (Haimerl, 1960). Tingginya efisiensi turbin *cross-flow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yaitu pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu pada saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan roda gerak. Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada system pengeluaran air dari roda gerak. Dari kesederhanaanya jika dibandingkan dengan jenis turbin lain, maka turbin *cross-flow* yang paling sederhana. Sudu-sudu turbin pelton misalnya, bentuknya sangat pelik sehingga pembuatannya harus dituang.

Demikian juga roda gerak turbin francis, kaplan dan propeller pembuatannya harus melalui proses pengecoran atau tuang.

Tetapi pada gerak turbin *cross-flow* dapat dibuat dari material baja sedang (*mild steel*) seperti ST.37, dibentuk dingin kemudian dirakit dengan konstruksi las.



Gambar 22. Efisiensi beberapa turbin dengan pengurangan debit sebagai variabel (Haimerl, 1960).

Dari kurva tersebut ditunjukkan hubungan antara efisiensi dengan pengurangan debit akibat pengaturan pembukaan katup yang dinyatakan dalam perbandingan debit terhadap debit maksimumnya. Untuk turbin *cross-flow* dengan $Q/Q_{maks}=1$ menunjukkan efisiensi yang cukup tinggi sekitar 80%, disamping itu untuk perubahan debit sampai dengan $Q/Q_{maks}=0,2$ menunjukkan harga efisiensi yang relatif tetap.

Demikian juga komponen-komponen lainnya dari turbin ini, semuanya dapat dibuat di bengkel-bengkel umum dengan peralatan pokok mesin las

listrik, mesin bor, mesin gerinda meja, bubut dan peralatan kerja bangku, itu sudah cukup. Dari kesederhanaannya itulah maka turbin *cross-flow* maka dikelompokkan sebagai teknologi tepat guna yang pengembangannya di masyarakat pedesaan memiliki prospek cerah karena pengaruh keunggulannya sesuai dengan kemampuan dan harapan masyarakat. Dari beberapa kelebihan turbin *cross-flow* itulah, maka sampai saat ini pemakaiannya di beberapa Negara lain terutama Jerman Barat sudah tersebar luas, bahkan yang dibuat oleh pabrik turbin Ossberger sudah mencapai 5.000 unit lebih.

2. Karakteristik Turbin Aliran Silang

Debit (Q) adalah banyaknya air yang mengalir dalam satu sekon satuannya meter kubik per sekon (m^3/s). Dari mekanika fluida debit air yang mengalir dari suatu tempat penampungan ditentukan oleh kecepatan aliran dan luas penampang aliran.

$$Q = C \times A \quad (2)$$

Persamaan lain untuk menentukan debit air yaitu:

$$Q = \frac{\text{vol}}{t} \quad (3)$$

Lau aliran massa (\dot{m}),

$$\dot{m} = \rho_1 \times Q_1 = \rho_2 \times Q_2 \quad (4)$$

daya hidrolis (P_H),

$$P_H = \rho \times g \times Q \times H \quad (5)$$

Daya turbin (P_T),

$$P_T = \frac{2 \times \pi \times n \times T}{60} \quad (6)$$

Daya generator (P_G),

$$P_G = V_G \times I_G \quad (7)$$

Efisiensi turbin (η_T) menunjukkan rasio kinerja turbin terhadap energi penggerakannya. Semakin besar efisien turbin maka semakin baik, karena berarti semakin kecil energi yangf terbuang.

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_H} \times 100\% \quad (8)$$

Efisiensi generator (η_G),

$$\eta_G = \frac{P_G}{P_T} \times 100\% \quad (9)$$

Efisiensi sistem (η_{PLTMH}) adalah kemampuan peralatan pembangkit untuk mengubah energi kinetik dari air yang mengalir menadi energi listrik.

$$\eta_{PLTMH} = \frac{P_G}{P_H} \times 100\% \quad (10)$$

3. Perhitungan Daya Sudu

a) Metode poligon kecepatan

Untuk menentukan daya turbin PLTMH kita gunakan poligon kecepatan sudu terlebih dahulu. Tahap-tahapan perhitungan daya turbinnya adalah sebagai berikut:

1) Kecepatan air masuk turbin (C_1)

$$C_1 = C_v \sqrt{2gH} \quad (11)$$

Dimana :

C_1 = kecepatan air masuk turbin (m/s)

g = percepatan gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

H = tinggi jatuh air

C_v = koefisien kecepatan air pada *nozzle* (0,98)

2) Kecepatan sisi masuk rotor turbin/kecepatan tangensial (U_1)

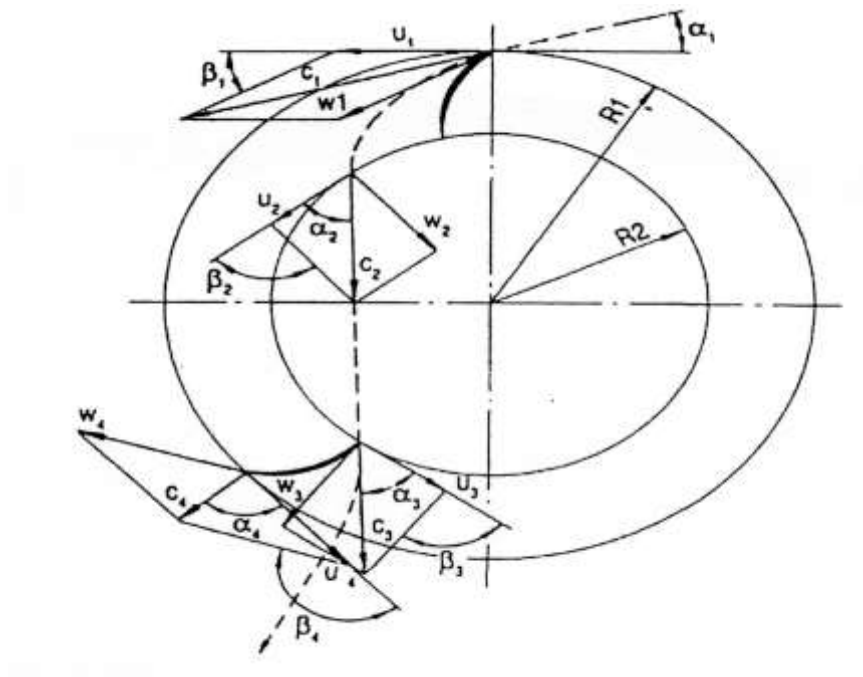
$$U_1 = K_{u1} \cdot C_1 \cdot \cos \alpha \quad (12)$$

Dimana :

U_1 = kecepatan keliling (m/s)

K_{u1} = koefisien kecepatan keliling

α = sudut masuk yang dibentuk oleh kecepatan absolut dan kecepatan tangensial.



Gambar 23. Segitiga kecepatan lintasan air melewati turbin.

Keterangan Gambar :

a. Parameter saat air masuk sudu pada tingkat I

W_1 = kecepatan relatif air masuk sudu pada tingkat I

C_1 = kecepatan air masuk turbin

β_1 = sudut kecepatan air masuk bagian luar runner

U_1 = kecepatan linier (keliling)

α_1 = sudut masuk yang dibentuk oleh kecepatan absolut dengan kecepatan tangensial.

b. Parameter saat air keluar sudu pada tingkat I

C_2 = kecepatan absolut air keluar sudu tingkat I

W_2 = kecepatan relatif air keluar sudu pada tingkat I

β_2 = sudut kecepatan air masuk bagian dalam runner

U_2 = kecepatan linier saat keluar sudu.

c. Parameter air saat masuk sudu tingkat II (C_3 , W_3 , α_3 , U_3)

d. Parameter air pada saat keluar pada sudu tingkat II (C_4 , U_4 , β_4 , W_4)

b) Daya turbin

Dengan adanya gaya tangensial yang bekerja pada runner turbin, maka runner turbin akan mengalami momen puntir.

$$M_t = F_u \cdot r$$

$$M_t = Q \cdot \rho (r_1 W_1 \cos \beta_1 - r_2 W_2 \cos \beta_2) \quad (13)$$

atau:

$$M_t = Q \cdot \rho (r_1 C_1 \cos \alpha_1 - r_2 C_2 \cos \alpha_2) \quad (14)$$

Apabila kecepatan tangensial yang bekerja (U) = $\pi \cdot D \cdot n$ dan kecepatan sudut (W) = U / r maka daya yang dihasilkan oleh turbin adalah :

$$P = M_t \cdot \omega$$

$$P = Q \cdot \rho (U_1 W_1 \cos \beta_1 - U_2 W_2 \cos \beta_2) \quad (15)$$

$$P = Q \cdot \rho (U_1 C_1 \cos \alpha_1 - U_2 C_2 \cos \alpha_2) \quad (16)$$

Dimana :	P = Daya turbin	(Watt)
	M_t = Momen puntir	(Nm)
	F_u = Gaya tangensial yang dihasilkan turbin	(N)
	C_1 = Kecepatan mutlak air masuk sudu turbin	(m/s)
	C_2 = Kecepatan mutlak air keluar sudu turbin	(m/s)
	W_1 = Kecepatan relatif air masuk sudu turbin	(m/s)
	W_2 = Kecepatan relatif air keluar sudu turbin	(m/s)
	U_1 = Kecepatan tangensial air masuk sudu turbin	(m/s)
	U_2 = Kecepatan tangensial air keluar sudu turbin	(m/s)
	r_1 = Jari – jari diameter luar runner turbin	(m)
	r_2 = Jari – jari diameter dalam runner turbin	(m)
	ω = Kecepatan sudut	(m/s)
	Q = Debit air yang digunakan	(m ³ /s)
	ρ = Massa jenis air	(kg/m ³)

Apabila ditinjau dari kapasitas dan tinggi jatuh air, daya turbin yang direncanakan dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini:

$$P = \rho g H Q \eta_T \quad (17)$$

Dimana:	P	= daya yang dihasilkan turbin (Watt)
	ρ	= massa jenis air (kg/m ³)
	Q	= kapasitas aliran (m ³ /det)
	H	= beda ketinggian bersih (m)
	η_T	= efisiensi turbin

c) *Head* bersih

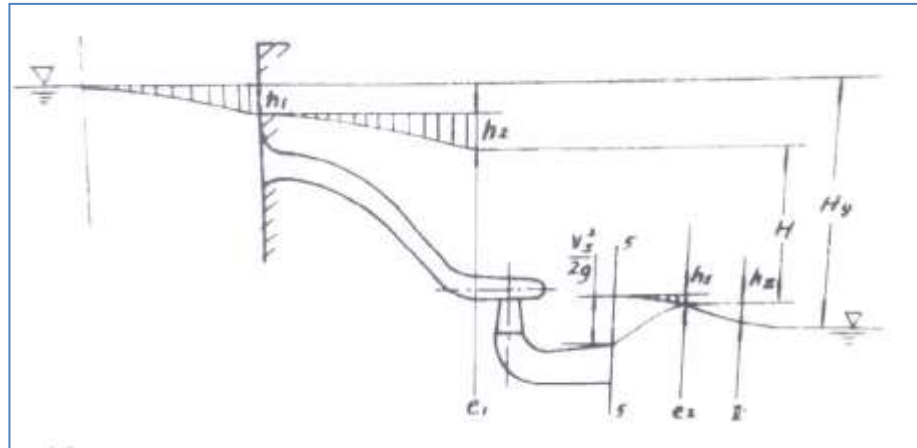
Head bersih adalah selisih antara ketinggian kotor dengan *head* kerugian di dalam system pemipaan pembangkit listrik tenaga mikro hidro tersebut. *Head* kotor (*gross head*) adalah jarak vertikal antara permukaan air sumber dengan ketinggian air keluar saluran turbin (*tail race*) untuk turbin reaksi dan keluar nosel untuk turbin impuls. Dalam persamaan hukum Bernoulli menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida energi mekanis zat cair yang terkandung pada setiap beratnya sebuah zat cair dapat ditunjukkan dengan nilai spesifiknya H .

$$H = z + p / (\rho g) + v^2 / (2g) \quad (18)$$

Dimana,

- z = elevasi (m);
- g = gaya gravitasi (m/s^2);
- p = tekanan (N/m^2);
- ρ = densitas cairan (kg/m^3);
- v = kecepatan partike cair (m/s)

Dari sini kita tahu bahwa energi mekanis H merupakan jumlah energi potensial dan energi kinetik. Energi spesifik ini memiliki dimensi kolom cairan 1 m. Arti h_1 , h_2 , dan h_{II} yang ditunjukkan Gambar



Gambar 24. Menentukan *head* sumber.

Head maksimum dan minimum, H_{\max} dan H_{\min} head net maksimum dan minimum yang diijinkan dalam *range* operasi turbin. Desain *head*, H_s adalah *head* minimum turbin untuk menghasilkan nilai output yang dapat ditentukan oleh dimensi generator dan kapasitas. Berat *head* rata-rata, H_{wa} , dapat ditentukan oleh berat rata-rata energi listrik atau waktu operasi, jadi, H_{wa} adalah *head* pada pengoperasian waktu terlama. Kecepatan rotasi turbin dapat dipilih sesuai nilai H_{wa} . (Jiandong, dkk. 1997).

Pada suatu sistem pembangkit sering terjadi rugi-rugi energi yang terjadi pada saluran pipanya, yaitu kerugian mayor dan kerugian minor. Dimana kerugian mayor adalah kerugian didalam pipa saat air mengalir dan kerugian minor adalah kerugian yang disebabkan oleh sistem pembangkitnya.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (19)$$

Dimana V adalah kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s), f adalah koefisien kerugian gesekan, g adalah percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$), L adalah panjang pipa (m), dan D adalah diameter dalam pipa (m). Koefisien gesek (f) dipengaruhi oleh kecepatan, karena distribusi kecepatan pada aliran laminar dan aliran turbulen berbeda. Untuk rumus koefisien geseknya ditinjau dengan persamaan:

Untuk aliran laminar

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (20)$$

Dimana: Re = bilangan Reynolds

$$\text{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (21)$$

Dimana: V = kecepatan aliran (m/s)

D = diameter pipa (m)

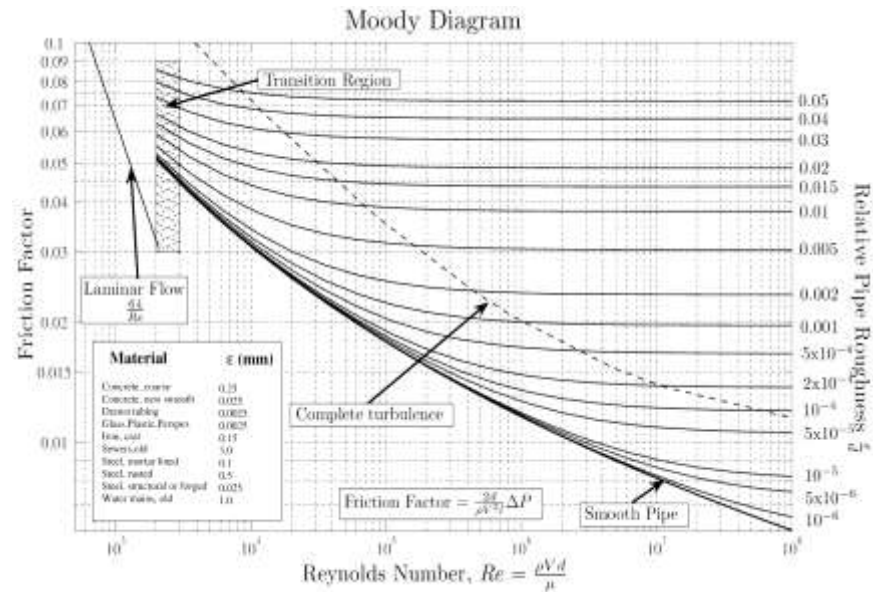
ρ = kerapatan fluida (kg/m^3)

μ = viskositas (kg/m.s)

Bilangan Reynolds sangat berhubungan dengan tipe aliran fluida, yaitu:

1. Aliran laminar dengan nilai bilangan Reynold kurang dari 2300
2. Aliran transisi dengan nilai bilangan Reynold antara 2300 sampai dengan 4000
3. Aliran turbulen dengan nilai bilangan Reynold lebih dari 4000

Untuk menentukan nilai f pada aliran turbulen dapat diperoleh dari diagram Moody, untuk nilai bilangan Reynolds dan e/D yang telah diketahui dapat digunakan untuk menentukan nilai f pada diagram Moody pada Gambar 25.



Gambar 25. Diagram Moody.

Head kerugian aliran di dalam system kelengkapan pipa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Fox, 1995):

$$h_f = K \frac{V^2}{2g} \quad (22)$$

Dimana K adalah koefisien kerugian yang besarnya tergantung dengan jenis kelengkapan system perpipaan tersebut. Sedangkan sebelum menentukan rugi-rugi yang terjadi di dalam pipa, perlu diketahui ukuran. Dengan menggunakan persamaan daya yang dihasilkan turbin, maka dapat diketahui ukuran diameter pipa dengan rugi-rugi gesekan yang terjadi di dalam pipa seminimal mungkin.

Kerugian akibat perubahan penampang dan aksesoris lainnya disebut juga kerugian sekunder atau *minor loss*, misalnya terjadi pembesaran penampang atau pengecilan penampang, belokan atau tikungan. Kerugian energi minor ini mengakibatkan adanya tumbukan antar partikel zat cair dan meningkatnya gesekan karena turbulensi serta tidak seragamnya

distribusi kecepatan pada suatu penampang pipa. Kerugian akibat sambungan pipa masuk:

$$H_{LM} = K \frac{V^2}{2g} \quad (23)$$

Dimana: K = koefisien kerugian energi

V = kecepatan aliran (m/s)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s²)

d) Kapasitas Aliran

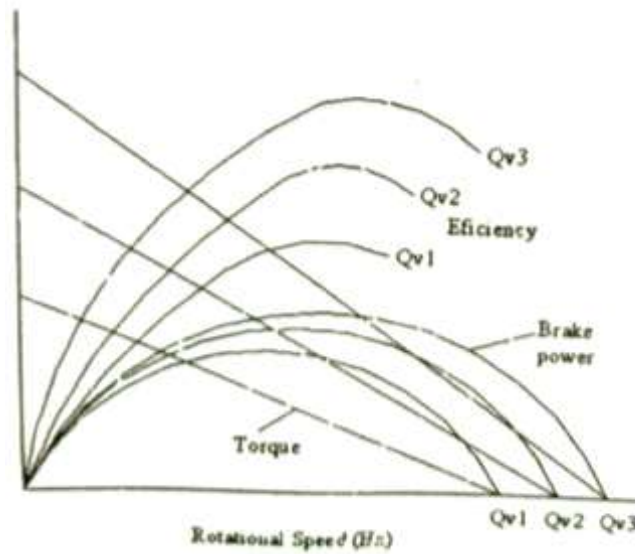
Kapasitas aliran dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = AV \quad (24)$$

Dimana A adalah luas tiap bagian penampang aliran (m²), dan V adalah kecepatan rata-rata aliran pada pusat tiap-tiap bagian penampang (m/s).

e) Unjuk kerja

Unjuk kerja dalam mesin fluida ditunjukkan dalam torsi, daya poros (*Power*) dan efisiensi. Laju pola aliran pada mesin dan performanya berubah mengikuti laju aliran volume dan kecepatan putaran. Performa sulit diperiksa secara analisis maka diukur secara eksperimental. Untuk turbin air yang diuji pada kecepatan aliran yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 26.



Gambar 26. Kurva karakteristik unjuk kerja turbin air.

E. Roda Gila (*Fly Wheel*)

1. Definisi Roda Gila

Roda gila adalah sebuah massa yang berputar, dan digunakan sebagai penyimpan tenaga mesin. Tenaga yang disimpan dalam roda gila berupa energi kinetik yang besarnya,

$$T = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (25)$$

Dimana:

I = momen inersia roda gila terhadap sumbu putarnya.

a. Koefisien Fluktuasi

Koefisien fluktuasi adalah variasi kecepatan yang diperlukan roda gila yang didefinisikan sebagai:

$$\delta = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega} = \frac{V_1 - V_2}{V} \quad (26)$$

Dimana: ω_1 = kecepatan sudut maksimal roda gila (*flywheel*)

ω_2 = kecepatan sudut minimal roda gila (*flywheel*)

ω_1 = kecepatan sudut rata-rata roda gila (*flywheel*) $\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$

V_1 = kecepatan maksimal suatu titik pada roda gila (*flywheel*)

V_2 = kecepatan minimal suatu titik pada roda gila (*flywheel*)

V = kecepatan rata-rata suatu titik pada roda gila (*flywheel*)

Nilai koefisien fluktuasi yang biasa dipakai (umum) dalam praktek, adalah berkisar antara 0,002 untuk generator listrik.

2. Menentukan Berat Roda Gila

Dimana: ω_1 = kecepatan sudut maksimal roda gila (*flywheel*)

ω_2 = kecepatan sudut minimal roda gila (*flywheel*)

I_0 = momen kelembaman roda gila terhadap sumbu putarnya.

Maka perubahan energi kinetik pada roda gila, pada kecepatan maksimum dan minimum dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$E = \frac{1}{2} I \sigma \omega_1^2 - \omega_2^2 \quad (27)$$

$$= \frac{1}{2} I \sigma (\omega_1^2 - \frac{1}{2} \omega_2^2) \quad (28)$$

$$= \frac{I_0}{2} (\omega_1 + \omega_2)(\omega_1 - \omega_2) \quad (29)$$

$$= I_0 (\omega_1 + \omega_2)(\omega_1 - \omega_2) \omega \quad (30)$$

$$= I_0 \omega \delta \omega = I_0 \delta \omega^2 \quad (31)$$

Bila :

K = radius girasi roda gila terhadap sumbu putarnya

W = berat roda gila (Kg)

Maka:

$$I_o = \frac{W}{g} K^2 \quad (32)$$

$$E = \frac{gE}{K^2 \delta \omega^2} \quad (33)$$

Sehingga :

$$W = \frac{gE}{K^2 \delta \omega^2} \quad (34)$$

Apabila r adalah jari-jari roda gila , dan berat roda gila, dianggap berkonsentrasi pada jari-jari rata-ratanya, maka:

$$k-r \text{ dan } \omega = \frac{V}{r} \quad (35)$$

Dengan mengganti nilai $V = \frac{V_2 - V_1}{2}$, maka:

$$W = \frac{gE}{\frac{V_2 - V_1}{V} \left(\frac{V_2 + V_1}{2} \right)} = \frac{gE}{\langle V^2 \rangle} \quad (36)$$

$$W = \frac{2gE}{V_1^2 - V_2^2} \quad (37)$$

Bila roda gila berupa disk, maka $I_o = \frac{1}{2} R^3$, sehingga harga E menjadi:

$$E = \frac{1}{2} \frac{W}{g} R^2 \delta \omega^2 = \frac{1}{2} \frac{W}{g} R^2 \delta \frac{V^2}{R^2} \quad (38)$$

$$W = \frac{2gE}{\delta V^2} \quad (39)$$

Dengan mempertimbangkan bagian-bagian yang lain ikut berputar, maka berat roda gila hanya 90% dari berat hasil perhitungan.

Dengan mempertimbangkan gaya sentrifugal yang diambil akibat putaran, maka kecepatan maksimum untuk roda gila dengan material baja adalah, $v = 40$ m/detik dan material besi tuang adalah $v = 30$ m/detik.

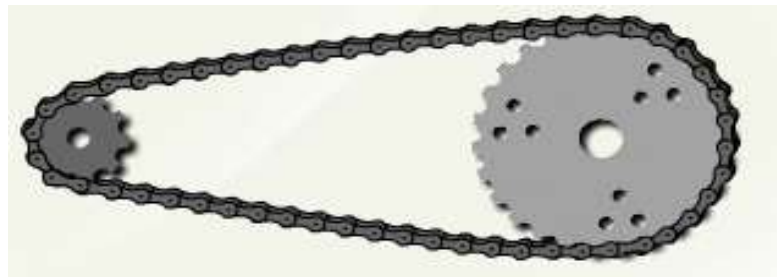
Pada analisis roda gila disini terdapat beberapa asumsi antara lain:

- Beban dianggap konstan.
- Kecepatan mesin dianggap konstan, jadi percepatan mesin dianggap nol.
- Kecepatan rata-rata roda gila dianggap sama dengan kecepatan kerja mesin.

F. Sistem Transmisi

1. Transmisi rantai-sproket (*chain and sprocket*)

Transmisi rantai-sproket digunakan untuk transmisi tenaga pada jarak sedang. Kelebihan dari transmisi ini dibanding dengan transmisi sabuk-puli adalah dapat digunakan untuk menyalurkan daya yang lebih besar seperti diuraikan berikut ini. Sketsa rantai dan sproket diperlihatkan pada Gambar 27.



Gambar 27. Rantai dan *gear*.

Kelebihan:

- transmisi tanpa slip dan perbandingan putaran tetap
- dapat meneruskan daya besar
- keausan kecil pada bantalan

- jarak poros menengah (antara *belt* dan *gear*)

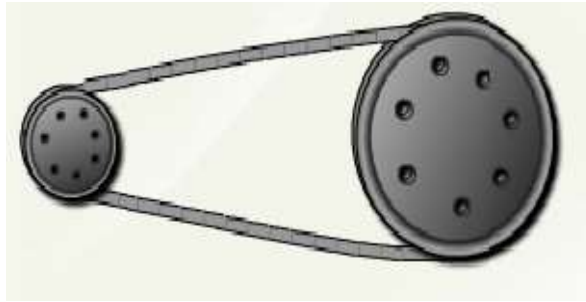
Kekurangan:

- tidak dapat dipakai utk kecepatan tinggi (max. 600 m/min)
- suara dan getaran tinggi
- perpanjangan rantai karena keausan pena dan bus.

2. Transmisi sabuk-puli (*belt and pulley*)

Jarak yang jauh antara dua buah poros sering tidak memungkinkan transmisi langsung. Dalam hal demikian, cara transmisi putaran atau daya yang lain dapat diterapkan, di mana sebuah sabuk luwes dibelitkan sekeliling puli pada poros. Sebagian besar transmisi sabuk menggunakan sabuk-V karena mudah penanganannya dan harganya pun murah. Kecepatan sabuk direncanakan untuk 10 sampai 20 (m/s) pada umumnya, dan maksimum sampai 25 (m/s). Daya maksimum yang dapat ditransmisikan kurang lebih sampai 500 (kW).

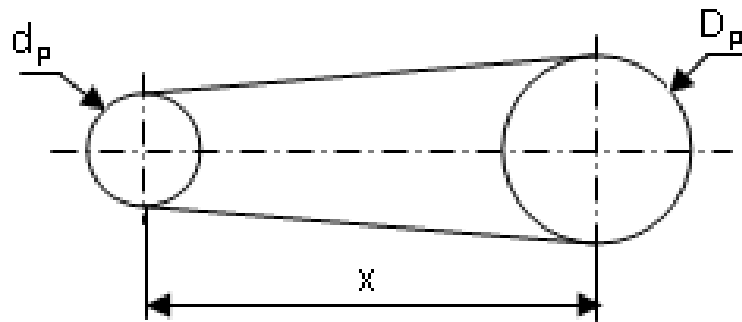
Sabuk-V terbuat dari karet dan mempunyai penampang trapesium. Tenunan tetoron atau semacamnya dipergunakan sebagai inti sabuk untuk membawa tarikan yang besar (Gambar 26). Sabuk-V dibelitkan di keliling alur puli yang berbentuk V pula. Bagian sabuk yang sedang membelit pada puli ini mengalami lengkungan sehingga lebar bagian dalamnya akan bertambah besar. Gaya gesekan juga akan bertambah karena pengaruh bentuk baji, yang akan menghasilkan transmisi daya yang besar pada tegangan yang relatif rendah.



Gambar 28. Transmisi *pulley* dan sabuk.

3. Analisa Perhitungan *Pulley* dan Sabuk

Daya yang di hasilkan motor ditransmisikan oleh sabuk dan puli.



Gambar 29. Ilustrasi dimensi jarak antara puli.

Mencari jarak antara puli. Maka mengacu pada persamaan 40.

(Sularso, dkk. 1991).

$$L = 2 C_d + \frac{\pi}{2} (d_p + D_p) + \frac{1}{4 C_d} (D_p - d_p)^2 \quad (40)$$

a) Jarak kedua sumbu poros yang dipakai

$$x = \frac{b + \sqrt{b^2 - (D_p - d_p)^2}}{8} \quad (41)$$

$$\text{dimana } b = 2L - 3,14 (D_p + d_p)$$

b) Kecepatan Linear sabuk

Kecepatan Linear sabuk dapat diketahui dengan menggunakan :

(Khurmi, dkk. 1990).

$$v = \frac{\pi D N_2}{60} \quad (42)$$

Keterangan:

v = kecepatan linear, m/s

N = Putaran poros *follower*, Rpm

D = Diameter poros *follower*, mm

c) Berat Sabuk per meter panjang (w)

Berat sabuk didapat dengan menggunakan:

$$W = \frac{a \times 100 \times \rho_{\text{sabuk}}}{1000} \quad (43)$$

d) Gaya Sentrifugal sabuk

Gaya sentrifugal sabuk dapat diketahui dengan :

$$T_c = \frac{w}{g} \times v^2 \quad (44)$$

Keterangan:

T_c = Gaya sentrifugal sabuk, N

w = berat sabuk, kg/m

v = kecepatan linear sabuk, m/s

g = gravitasi, 9,81 m/s²

e) Gaya maksimum sabuk (T_{maks})

Gaya maksimum sabuk dapat dicari dengan menggunakan

$$T_{\text{maks}} = \sigma_t \times a \quad (45)$$

σ_t = tegangan tarik ijin sabuk, N/mm

f) Gaya untuk sisi kancang sabuk

Mencari besarnya gaya yang terjadi pada sisi kencang sabuk, maka dapat menggunakan

$$T_1 = T_{\text{maks}} - T_C \quad (46)$$

g) Sudut kontak pada *pulley* kecil (*pulley* pada poros motor) dapat diketahui dengan menggunakan

$$\theta = 180^\circ - 2\alpha \quad (47)$$

h) Gaya untuk sisi kendur sabuk

Dengan mempertimbangkan besarnya tegangan pada sisi kencang yang terjadi, maka untuk mencari tegangan pada sisi kendur dapat menggunakan:

$$2,3 \log \frac{T_1}{T_2} = e^{\pi\theta} \quad (48)$$

Keterangan:

T_1 = Tegangan sabuk sisi kencang, N

T_2 = Tegangan sabuk sisi kendur, N

i) Torsi *output* dan *input*

$$T_{\text{output}} = (T_1 - T_2) \times R_2 \quad (49)$$

j) *Horse power output* dan *input*

$$HP_{\text{output}} = \frac{2\pi NT}{60} \quad (50)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Perancangan dan pembuatan model sistem PLTMH turbin aliran silang ini, dimulai pada bulan Oktober 2015 yang dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Fluida, Teknik Mesin Universitas Lampung.

B. Perancangan dan Pembuatan Alat uji turbin aliran silang

Dalam perancangan dan pembuatan alat uji model sistem PLTMH turbin aliran silang meliputi beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut :

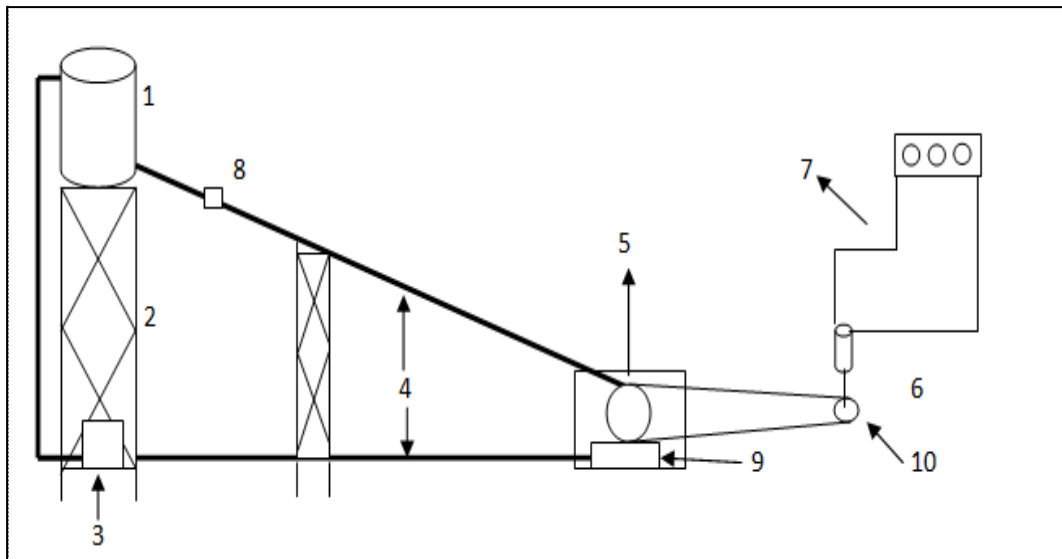
1. Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan ini, penulis melakukan studi literatur dan menyiapkan bahan-bahan serta peralatan yang dibutuhkan dalam perancangan model sistem PLTMH turbin aliran silang ini.

2. Tahap Perancangan dan Pembuatan Alat

Pada tahap ini terdapat beberapa tahapan yaitu :

- a. Pembuatan gambar rancangan model sistem PLTMH turbin aliran silang yang dapat dilihat pada Gambar 30.



Gambar 30. Sketsa rancangan model sistem PLTMH.

Keterangan gambar :

1:drum air

2:tiang penyangga

3:pompa air

4:pipa

5:turbin

6:generator

7:lampu dan instalasi listrik

8:katup

9:bak penampung sementara

10:pulley

- b. Menyiapkan bahan-bahan dan peralatan yang dibutuhkan dalam pembuatan model sistem PLTMH.
- c. Menentukan parameter-parameter yang akan diukur dan jenis alat ukur yang akan digunakan pada model sistem PLTMH menggunakan turbin aliran silang.
- d. Melakukan pemasangan pompa, pipa-pipa, generator dan instalasi lampu listik pada model sistem PLTMH.
- e. Melakukan pengujian terhadap sistem PLTMH ini.

C. Alat dan Bahan yang Digunakan

1. Adapun alat yang digunakan dalam proses pengujian adalah :

- a. Turbin aliran silang

Turbin aliran silang yang akan digunakan pada penelitian ini dibuat dengan jumlah sudu 17,18,19 buah, diameter dalam 80 mm, diameter luar 120 mm, ketebalan sudu 1mm dan panjang turbin 250 mm.



Gambar 31. Turbin *cross flow*.

- b. Pulley

Pulley digunakan sebagai alat transmisi gaya turbin ke generator, dengan rasio 1:10 pada generator untuk mendapatkan putaran yang maksimal.



Gambar 32. *Pulley.*

c. Generator

Generator yang dipakai memiliki kapasitas yang sangat kecil yaitu dibawah 100 watt.



Gambar 33. Generator.

d. Multimeter

Digunakan untuk mengetahui arus dan tegangan yang keluar dari generator.



Gambar 34. Multimeter.

e. Tacho Meter

Digunakan untuk mengukur putaran poros turbin dan generator.



Gambar 35. Tacho Meter.

f. Pipa

Pipa sebagai media penyaluran fluida menggunakan pipa jenis PVC.



Gambar 36. Pipa PVC.

g. Besi

Bahan yang digunakan untuk pembuatan kerangka ataupun dudukan untuk alat uji turbin *cross flow* adalah bahan yang terbuat dari besi hollow.



Gambar 37. Besi Hollow.

h. Katup

Katup digunakan untuk memperbesar dan memperkecil laju aliran air dalam pipa pada proses pengujian.



Gambar 38. Katup.

i. Bak penampung air

Bak penampung air digunakan sebagai sumber air dan penampung air yang telah dipompa.



Gambar 39. Bak penampung air.

j. Roda gila

Roda gila digunakan sebagai penyimpan energi putar dari turbin, dengan berat 1,4 kg.



Gambar 40. Roda gila.

D. Pengujian Rancangan Model Sistem PLTMH

Pada proses pengujian ini, dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja turbin aliran silang sebagai pembangkit listrik. Parameter-parameter yang dapat diketahui dari proses pengujian adalah :

1. Debit aliran.

Pada pengoprasianya menggunakan variasi debit aliran $0,0031 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$. Dengan melakukan bukaan pada katup sebesar 30° , 60° , 90° .

2. Jumlah sudu

Turbin yang digunakan memiliki jumlah sudu 17 buah, 18 buah dan 19 buah.

3. Berat *flywheel*

Flywheel yang kita gunakan yaitu dengan berat 1 kg, 1,2 kg dan 1,4 kg.

E. Prosedur Pengambilan Data

Hal-hal yang perlu dilakukan sebelum pengujian ini adalah:

1. Merakit dan menyiapkan bentuk model PLTMH secara lengkap seperti pada Gambar 28.
2. Mengisi drum air 1 dan drum air 2 dengan air secukupnya sampai dengan tinggi yang diinginkan.
3. Memasang dan menghidupkan pompa air.
4. Membuka katup sehingga air dapat bersirkulasi dengan penuh.

5. Setelah air terisi kesemua drum dan air dapat bersirkulasi dengan baik, maka dimulai proses pengujian dan pengambilan data.
6. Proses pengambilan data dilakukan dalam 3 debit aliran, yaitu $0,0031 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan membuka katup sebesar 30° , 60° , dan 90° dengan tinggi *head* 1,75 m.
7. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan jumlah sudu 17, 18, dan 19 buah.
8. Mengambil data dengan menggunakan torsimeter dan diambil berdasarkan torsi terbesar dan dibagi sebanyak 5 kali pengambilan data, dan putaran poros turbin dan generator dengan Tachometer, serta mengukur arus dan tegangan listrik menggunakan multi meter. Waktu di ukur dengan stopwatch.
9. Mengulangi langkah tersebut untuk bukaan katup selanjutnya.
10. Data yang diperoleh dicatat dalam tabel.

F. Analisis Data

Setelah dilakukan pengujian, maka akan didapatkan data-data hasil pengujian, untuk kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan teori-teori yang diperoleh dari buku acuan, tentang mekanika fluida, dimana tujuan membandingkan ini adalah untuk mengetahui apakah hasil pengujian ini dapat digunakan untuk menjelaskan pengaruh parameter-parameter seperti debit aliran, jumlah sudu dan berat *fly wheel*, untuk kemudian digunakan sebagai salah satu alat praktikum Prestasi Mesin untuk S1 da mesin-mesin Fluida Untuk D3 di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

Kemudian data-data yang telah didapat dari pengujian alat uji turbin aliran silang dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 2. Contoh tabel pengambilan data hasil pengujian pada turbin aliran silang.

Bukaan Katup (derajat)	Beban (watt)	V _G (V)	I _G (A)	n _T (rpm)
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			

G. Pengolahan Data

Setelah pengujian dilakukan, data yang diperoleh digunakan untuk mengetahui unjuk kerja sistem PLTMH. Adapun besaran-besaran unjuk kerja kerja sistem PLTMH adalah :

1. Daya hidrolis (P_h)

Daya hidrolis yang diberikan oleh fluida terhadap turbin, dapat dihitung dengan Persamaan (5) :

$$P_h = \rho \times g \times Q \times H$$

2. Daya turbin (P_T)

Daya yang dihasilkan oleh turbin dapat dihitung dengan Persamaan (6) :

$$P_T = \frac{2 \times \pi \times n \times T}{60}$$

3. Daya generator (P_G)

Daya yang dihasilkan oleh generator dapat dihitung dengan Persamaan (7):

$$P_G = V_G \times I_G$$

4. Efisiensi turbin (η_T)

Efisiensi turbin dapat dihitung menggunakan Persamaan (8) :

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_H} \times 100\%$$

5. Efisiensi generator (η_G)

Efisiensi generator dapat dihitung menggunakan Persamaan (9) :

$$\eta_T = \frac{P_G}{P_T} \times 100\%$$

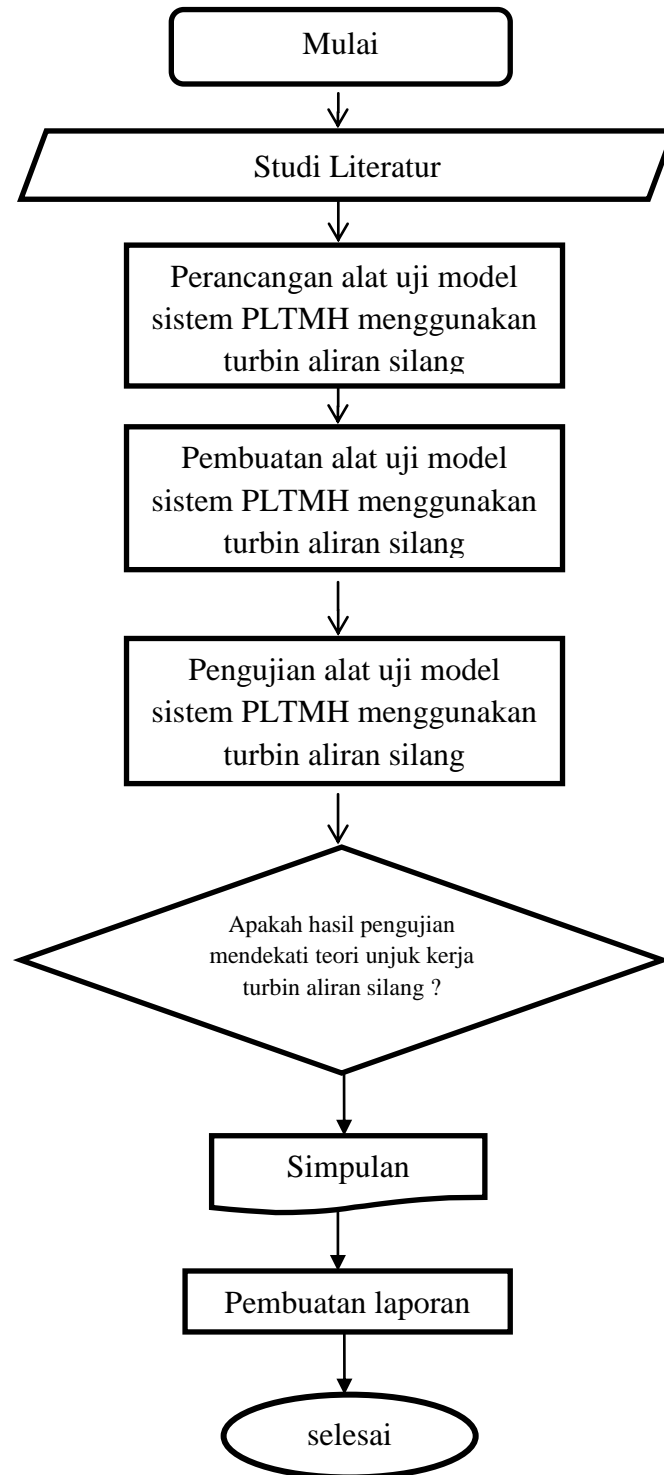
6. Efisiensi sistem (η_{PLTMH})

Efisiensi sistem (PLTMH) dapat dihitung menggunakan Persamaan (10) :

$$\eta_{PLTMH} = \frac{P_G}{P_H} \times 100\%$$

H. Diagram Alur Penelitian Tugas Akhir

Alur pelaksanaan yang dilakukan pada tugas akhir ini, dapat digambarkan pada diagram berikut ini :



Gambar 40. Diagram alur penelitian tugas akhir.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Dari hasil penelitian dan pengolahan data, maka penulis dapat mengambil simpulan sebagai berikut:

1. Pada tugas akhir ini telah dilakukan pembuatan dan pengujian model sistem PLTMH dengan menggunakan turbin aliran silang (*crossflow*) di Laboratorium Fluida Universitas Lampung.
2. Pada pengoprasian model sistem PLTMH didapatkan daya 25,9 Watt dan efisiensi sistem PLTMH mencapai 14,21 %.
3. Walaupun unjuk kerja alat uji model sistem PLTMH yang telah dibuat ini masih rendah, namun alat ini sudah bisa menjelaskan fenomena perubahan energi air menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin air sehingga dapat digunakan sebagai alat uji praktikum prestasi mesin untuk S1 dan mesin-mesin fluida untuk D3 di Laboratorium Fluida Teknik Mesin Universitas Lampung.

B. Saran

1. Masih banyak faktor yang dapat diteliti tentang sistem PLTMH ini, salah satunya yaitu model turbin yang dibuat belum memiliki nosel turbin *crossflow* seperti standar yang ada pada umumnya. Dimana nosel menyatu dengan rumah turbin dan nosel yang dilengkapi dengan katup untuk mengatur laju aliran dapat dilakukan di nosel serta tebal area semburannya dapat di variasikan, untuk mencari laju aliran dan tebal semburan air terhadap sudu yang paling efektif.
2. Pembuatan sudu-sudu turbin sebaiknya dilakukan dengan teknologi yang lebih baik, seperti dalam proses penyambungan sudu dengan bodi turbinnya harus lebih presisi lagi, agar rancangan turbin dapat semakin baik dan efisiensi yang didapat lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, S.K. 2004. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik I*. Jakarta. PT Pradnya Paramita.
- Dietzel, F. 1988. *Turbin Pompa dan Kompresor*: Jakarta. Erlangga.
- Fox, R.W., Dan A.T McDonald.1995. *Introduction to Fluid Mechanics 3rd edition*. USA. John Willey & Sons.
- Haimerl, L.A. 1960. *The Cross Flow Turbine*. Jerman Barat.
- Jiandong, T., Z. Naibo., W. Xianhuan., H. Jing., D. Huishen. 1997. *Mini Hydropower*. China. Hangzhou Regional Centre For Small Hydo Power.
- Khurmi RS. G.JK. 1980, *Text Book of Machine Design Eurasia*. New Delhi. Publising House, ltd Ram Nagar.
- Mockmore C.A., and M Fred. 1949. *The Banki Water Turbine*. Bulletin Series No.25 Engineering Experimental Station, Oregon State System of Higher education, Oregon State College, Corvalis.
- Patty, O. 1995. *Tenaga Air*. Jakarta. Erlangga.

Pudjanarsa, A. & N. Djati. 2006. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta. C.V Andi Offset.

Sularso, K. S. 1991, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.