

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR
UNTUK MEMANFAATAN ENERGI ALIRAN SUNGAI
PENYUNGKAYAN DI DUSUN PENYUNGKAYAN KECAMATAN BALIK
BUKIT KABUPATEN LAMPUNG BARAT PROVINSI LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

BAMBANG SULISTIYO



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2018

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR UNTUK MEMANFAATAN ENERGI ALIRAN SUNGAI PENYUNGKAYAN DI DUSUN PENYUNGKAYAN KECAMATAN BALIK BUKIT KABUPATEN LAMPUNG BARAT PROVINSI LAMPUNG

Oleh:

BAMBANG SULISTIYO

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok masyarakat saat ini. Pemenuhan kebutuhan listrik untuk masyarakat pedalaman menjadi hal yang penting agar kemajuan teknologi juga dapat dirasakan oleh setiap lapisan masyarakat. Dusun Penyungkayan Desa Way Empulau Ulu merupakan wilayah desa yang memiliki geografis yang sulit untuk dijangkau. Pemenuhan energi listrik pada wilayah tersebut dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi sumber daya alam yang tersedia, antara lain energi Sungai Penyungkayan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi energi aliran sungai untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dengan perancangan dan pembuatan sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Hasil studi potensi yang dilakukan menunjukkan nilai debit sebesar $0,149 \text{ m}^3/\text{s}$ dan head sebesar 6,08 m. Berdasarkan nilai studi potensial, jenis turbin crossflow dipilih menjadi turbin air yang dapat digunakan. Selanjutnya perancangan sistem menghasilkan diameter pipa pesat sebesar 0,29 m dengan dimensi runner turbin berupa diameter luar 0,37 m, diameter dalam 0,24 m, jarak antar sudu 0,065 m, ketebalan semburan nosel 0,031, jari-jari kelengkungan sudu 0,06 m dan jumlah sudu 18. Dengan memperhatikan kemudahan proses manufaktur maka diperoleh dimensi pembuatan berupa dimensi pipa pesat berdiameter 0,25 m dengan ketebalan 0,02 m dan dimensi *runner* dengan diameter luar 0,38 m, diameter dalam 0,32 m, jarak antar sudu 0,065 m, ketebalan semburan nosel 0,04, jari-jari kelengkungan sudu 0,063 m dan jumlah sudu 20. Adapun hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan efisiensi terbesar yang dihasilkan sistem adalah sebesar 19,8%.

Kata Kunci: Listrik, Studi Potensi, *Runner*

ABSTRACT

DESIGN AND MANUFACTURING OF WATER POWER PLANT SYSTEM TO UTILIZE ENERGY FLOW OF PENYUNGKAYAN RIVER IN LAMPUNG BARAT DISTRICT

By:

BAMBANG SULISTIYO

Electrical energy is one of the basic needs of society today. Fulfillment of electricity needs for rural communities is important so that technological progress can also be felt by every level of society. Penyungkayan Hamlet, Way Empulau Ulu Village is a village area that has a geographic that is difficult to reach. Fulfillment of electrical energy in the region can be done by utilizing the natural energy resources from Penyungkayan River. This research was conducted to determine the potential energy of river to be used as a source of electrical energy by designing and manufacturing micro-hydro power generation systems. The results of potential study showed a discharge value of 0.149 m³ / s and head of 6.08 m. Based on the potential study value, the type of crossflow turbine was chosen to be water turbine which can be used. Furthermore, the design of system produced a penstock diameter of 0.29 m with the dimensions of the turbine runner as an outer diameter of 0.37 m, an inner diameter of 0.24 m, a distance between blades of 0.065 m, a nozzle thickness of 0.031 m, a radius of curvature of 0.06 m and number of blades 18. To make ease manufacturing process, the penstock diameter can be chosen was 0.25 m with a penstock thickness of 0.02 m and dimensions of the turbine runner with an outer diameter of 0.38 m, an inner diameter of 0.32 m, a distance between blade of 0.065 m, nozzle thickness of 0.04 m, blade curvature radius of 0.063 m and number of blades 20. The results of the tests showed that the greatest efficiency generated by the system was 19.8%

Keywords: Electrical, Study Potential, Runner

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR
UNTUK MEMANFAATAN ENERGI ALIRAN SUNGAI
PENYUNGKAYAN DI DUSUN PENYUNGKAYAN KECAMATAN BALIK
BUKIT KABUPATEN LAMPUNG BARAT PROVINSI LAMPUNG**

Oleh

BAMBANG SULISTIYO

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi

**: RANCANG BANGUN SISTEM PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA AIR UNTUK
MEMANFAATKAN ENERGI ALIRAN SUNGAI
PENYUNGKAYAN DI DUSUN PENYUNGKAYAN
KECAMATAN BALIK BUKIT KABUPATEN
LAMPUNG BARAT PROVINSI LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : **Bambang Sulistiyo**

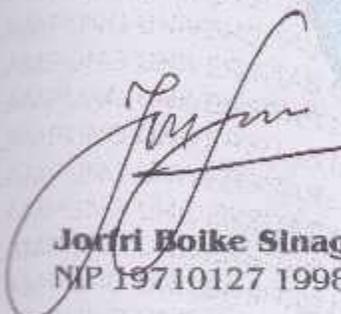
Nomor Pokok Mahasiswa : 1415021022

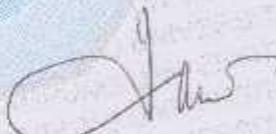
Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing


Joffri Bolke Sinaga, S.T., M.T.
NIP 19710127 199803 1 004


Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, S.T., M.T.
NIP 19640506 200003 1 001

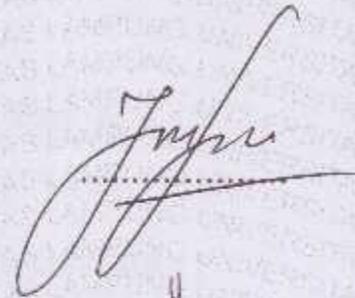
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin


Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP 19740816 200012 1 001

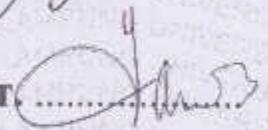
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua Penguji : **Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T.**



Anggota Penguji : **Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, S.T., M.T.**



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



2. Dekan Fakultas Teknik



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

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **12 September 2018**

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**

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



**BAMBANG SULISTIYO
NPM. 1415021022**

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sidoluhur, Lampung Tengah pada tanggal 19 Oktober 1995, sebagai anak keenam dari tujuh bersaudara dari pasangan bapak Wagiman dan Ibu Kusminah. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Sidoluhur pada tahun 2008, SMP di SMP Negeri 1 Bangunrejo tahun 2011 dan SMA di SMA Negeri 1 Bangunrejo pada tahun 2014. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di tingkat perguruan tinggi pada tahun 2014 sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam berbagai lembaga kemahasiswaan diantaranya sebagai anggota divisi penelitian Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung periode 2016-2017. Selain itu, penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan perlombaan di bidang perancangan dan konversi energi diantaranya adalah Kontes Mobil Hemat Energi pada tahun 2016 dan 2017 serta Shell Eco Marathon Asia 2018. Pada skripsi ini, penulis melakukan penelitian di bidang konsentrasi konversi energi dengan judul **“Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Untuk Memanfaatkan Energi Aliran Sungai Penyungkayan Di Dusun Penyungkayan Kecamatan Balik Bukit Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung”** dibawah bimbingan bapak Jorfri Boike S, S.T.,M.T. dan bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanudin S.T.,M.T.

MOTTO

**“Barang siapa yang belum pernah merasakan pahitnya menuntut ilmu
walau sesaat, ia akan menelan hinanya kebodohan sepanjang hidupnya.”**

(Imam Syafi'i)

**“Man Jadda Wajadda, Man Shobaro Dzhofiro, Man Saaro ‘Alaa Darbi
Washola”**

(Al Qur'an)

**“Bagaimanapun saya di masa lalu, saya berhak menjadi lebih baik di masa
yang akan datang”**

(Penulis)

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan serta menyelesaikan skripsi dengan judul **“Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Untuk Memanfaatkan Energi Aliran Sungai Penyungkayan Di Dusun Penyungkayan Kecamatan Balik Bukit Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung”**. Penulis menyadari betapa besar bantuan serta dukungan dari semua pihak yang telah membantu dalam proses penelitian tugas akhir ini. Melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orangtua yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan baik secara materil maupun moril.
2. Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
3. Bapak Ahmad Su’udi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanudin S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Bapak Agus Sugiri S.T.,M.Eng. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam menyelesaikan skripsi ini
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan banyak pengetahuan baik didalam proses perkuliahan maupun diluar proses perkuliahan.
8. Bapak Daryanto selaku Kepala Dusun Penyungkayan beserta seluruh warga Dusun Penyungkayan Desa Way Empukau Ulu yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan proyek Tugas Akhir ini.
9. Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung terkhusus Teman-Teman Teknik Mesin Angkatan 2014 yang selalu bersama-sama dalam susah maupun senang..
10. Mas Ali, Mas Adi, Mas Tata, Mas Putu, Wahyu serta rekan-rekan Moran Team Universitas Lampung yang telah berbagi banyak ilmu dan pengalaman.
11. Pihak-pihak lain yang telah banyak membantu penulis selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas segala amal baik bagi yang telah membantu didalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Sekian dan Terimakasih.

Bandar Lampung, 11 Oktober 2018

Penulis

Bambang Sulistyo
NPM. 1415021022

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	
ABSTRAK	i
HALAMAN JUDUL.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN PENULIS	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
MOTTO	viii
SANWACANA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan.....	3
C. Batasan Masalah.....	4
D. Sistematika Penulisan Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. <i>Hydropower</i>	6
B. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)	8
1. Tinjauan Umum PLTMH	8
2. Komponen PLTMH	9
a. Aliran sungai	10

b. Bendungan	10
c. Saluran terbuka	11
d. Bak penenang (<i>forebay</i>).....	11
e. Saluran tertutup atau pipa pesat	11
f. Turbin	13
g. Generator	14
C. Turbin Air.....	14
1. Berdasarkan model aliran masuk <i>runner</i>	14
a. Turbin aliran aksial	15
b. Turbin aliran tangensial	15
c. Turbin aliran aksial-tangensial.....	15
2. Berdasarkan perubahan momentum fluida kerjanya	15
a. Turbin impuls.....	15
1). Turbin Girard	16
2). Turbin Turgo.....	17
3). Turbin Pelton	17
4). Turbin Aliran Silang (<i>crossflow</i>).....	18
b. Turbin reaksi	21
1). Turbin Fourneyron.....	21
2). Turbin Jonval	22
3). Turbin Francis.....	22
4). Turbin Kaplan	23
D. Karakteristik Turbin Air.....	24
E. Kriteria Pemilihan Turbin	26
1. Berdasarkan <i>head</i> aliran	27
a. <i>Head</i> kotor.....	27
b. <i>Headloss mayor</i>	29
c. <i>Headloss minor</i>	29
d. <i>Head</i> total.....	30
2. Berdasarkan debit aliran	30
a. Pengukuran kecepatan aliran dengan pelampung	31
b. Pengukuran kecepatan aliran dengan <i>current meter</i>	32

3. Berdasarkan kecepatan spesifik	37
F. Perancangan <i>Runner</i> Turbin <i>Crossflow</i>	38
1. Diameter dan lebar <i>runner</i>	39
2. Diameter dalam <i>runner</i>	40
3. Kecepatan maksimal <i>runner</i>	41
4. Tebal semburan nosel	41
5. Sudut sudu	42
6. Jarak antar sudu	44
7. Jari-jari kelengkungan sudu	45
8. Jumlah sudu	46
G. Poros	46
1. Tegangan geser maksimum	47
2. Tegangan normal maksimum	48
3. Poros dengan beban berfluktuasi	49
F. Sistem Transmisi	51
1. Sistem transmisi langsung	51
2. Sistem transmisi tak langsung	51

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat Pelaksanaan	57
B. Alat dan Bahan	57
1. Selang plastik	57
2. Benang nilon	57
3. <i>Stereofoam</i>	58
4. <i>Stopwatch</i>	58
5. Alat ukur (meteran)	58
6. <i>Tachometer</i>	58
7. <i>Altimeter</i>	58
8. <i>Current meter</i>	59
9. <i>Clamp meter</i>	59
10. Alat ukur (meteran)	59
11. Mesin las listrik	59

12. Gerinda listrik	59
13. Palu	59
14. Kunci momen dan lain lain	60
15. Pipa besi	60
16. Pelat besi dan besi siku	60
17. Poros	60
18. Roda gigi dan rantai	60
19. <i>Belt</i> dan <i>pulley</i>	60
20. Generator AC	60
21. <i>Bearing</i>	60
22. Mur dan baut	61
23. Cat besi.....	61
C. Tahapan Penelitian	61
1. Studi literatur	61
2. Studi potensi	61
3. Perancangan sistem PLTMH	62
4. Pembuatan sistem PLTMH.....	62
5. Pengujian sistem PLTMH.....	63
6. Analisis data pengujian	64
D. Metode Pengumpulan Data	64
1. Pengukuran <i>head</i>	64
2. Pengukuran debit	64
3. Pengukuran parameter daya.....	65
E. Pengolahan Data	66
F. Analisis Data	66
G. Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir	66

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Studi Potensi	68
1. Data <i>head</i> sistem	68
2. Data debit sistem	70
B. Perancangan Sistem	73

1. Pemilihan jenis turbin	73
2. Perancangan pipa pesat	73
a. Diameter pipa pesat	73
b. Kecepatan aliran pada pipa pesat	74
c. Ketebalan pipa pesat	74
d. Rugi-rugi pada pipa pesat	74
1). <i>Headloss mayor</i>	75
2). <i>Headloss minor</i>	75
3). <i>Head total</i>	75
3. Perancangan dimensi turbin	75
a. Luas <i>runner</i> turbin	75
b. Diameter luar turbin	76
c. Diameter dalam turbin	76
d. Kecepatan maksimal <i>runner</i> turbin	76
e. Jarak antar sudu.....	76
f. Ketebalan semburan nosel	76
g. Jari-jari kelengkungan sudu	77
h. Jumlah sudu	77
4. Perancangan nosel turbin	78
5. Perancangan poros turbin	78
a. Perhitungan torsi dan momen	79
b. Diameter minimal poros pada beban puntir	80
c. Diameter minimal poros pada beban lentur	81
5. Pemilihan generator	81
6. Perancangan sistem transmisi	82
C. Pembuatan Komponen	83
1. Penyiapan alat dan bahan.....	83
2. Pembuatan runner turbin	84
3. Pembuatan dudukan turbin	89
4. Pemilihan <i>pulley</i>	90
D. Perakitan Instalasi Sistem PLTMH	90

1. Pipa pesat	90
2. Turbin	90
3. Generator.....	91
4. Pemasangan sistem transmisi	91
5. Pemasangan instalasi listrik	92
E.Pengujian Sistem	93

BAB V PENUTUP

A. Simpulan	98
B. Saran.....	99

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Jenis pembangkit listrik tenaga air berdasarkan kapasitasnya.....	7
2. Penggunaan turbin berdasarkan nilai <i>head</i>	30
3. Jenis turbin berdasarkan kecepatan spesifik.....	38
4. Harga k_m dan k_t pada berbagai beban	50
5. Hasil pengukuran <i>head</i> dengan metode Altimeter.....	69
6. Hasil pengukuran <i>head</i> dengan metode manometer	70
7. Luas Penampang Aliran metode benda apung	70
8. Kecepatan aliran metode benda apung	71
9. Kecepatan aliran metode <i>current meter</i>	71
10. Perhitungan debit aliran metode <i>current meter</i>	72
11. Spesifikasi Generator.....	82
12. Realisasi dimensi turbin sesudah pembuatan	87
13. Data variasi beban.....	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Sungai penyungkayan	2
2. Skema PLTMH	9
3. Turbin Girard	16
4. Turbin Turgo	17
5. Turbin Pelton	18
6. Turbin aliran silang	20
7. Turbin Fourneyron	21
8. Turbin Jonval	22
9. Turbin Francis	23
10. Turbin Kaplan	24
11. Pengukuran dari titik tinggi ke titik rendah	28
12. Tahapan pengukuran <i>head</i> sistem	28
13. Jenis-jenis pelampung	31
14. <i>Current meter</i>	32
15. Metode satu titik	33
16. Metode dua titik	33
17. Pengukuran luas penampang dalam beberapa segmen	35
18. Penentuan kedalaman rata-rata sungai	36
19. Grafik pengaruh debit terhadap efisiensi turbin	36
20. Grafik pemilihan jenis turbin berdasarkan debit dan head	37
21. Segitiga kecepatan sudu	42
22. Segitiga kecepatan gabungan	44
23. Jari-jari kelengkungan sudu	45
24. Perbandingan diameter <i>pulley</i>	52
25. <i>Tachometer</i>	58

26.	Altimeter digital.....	58
27.	<i>Current Meter</i>	59
28.	<i>Clamp Meter</i>	59
29.	Diagram alur Penelitian	67
30.	Pembagian segmen pengukuran <i>head</i> metode manometer.....	69
31.	Rancangan <i>runner</i> turbin <i>crossflow</i>	77
32.	Rancangan nosel turbin <i>crossflow</i>	78
33.	Skema gaya pada poros	79
34.	Nosel turbin <i>crossflow</i>	86
35.	<i>Runner</i> desain	88
36.	<i>Runner</i> aktual.....	88
37.	Pemasangan pipa pesat	90
38.	Pemasangan turbin.....	91
39.	Pemasangan generator	91
40.	Pemasangan sistem transmisi	92
41.	Pemasangan instalasi listrik.....	92
42.	Grafik pengaruh debit terhadap putaran turbin pada berbagai beban...	94
43.	Grafik pengaruh debit terhadap daya listrik pada berbagai beban	95
44.	Grafik pengaruh debit terhadap efisiensi sistem pada berbagai beban...	97

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok bagi masyarakat saat ini. Seiring dengan perkembangan teknologi, peningkatan kebutuhan terhadap energi listrik di Indonesia semakin meningkat. Namun hal tersebut tidak diimbangi dengan penyediaan sumber energi listrik yang masih memiliki ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Selain itu, wilayah Indonesia yang terdiri dari banyak pegunungan membuat distribusi energi listrik menjadi tidak merata. Akibatnya masih banyak warga yang tinggal di daerah pedalaman belum memperoleh akses energi listrik yang baik. Sehingga diperlukan solusi untuk mengatasi kelangkaan dan pemerataan akses energi listrik bagi masyarakat. Sumber energi terbarukan dapat diperoleh dengan memanfaatkan potensi sumber daya alam yang dekat dengan masyarakat. Hal tersebut dapat menjadi solusi untuk mengatasi kelangkaan dan pemerataan akses energi listrik bagi seluruh masyarakat.

Dusun Penyungkayan Pekon Way Empulau Ulu merupakan salah satu desa yang memiliki bentuk wilayah berupa pegunungan di Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung. Akses menuju dusun berupa bukit yang curam

menyebabkan tidak adanya akses penyediaan energi listrik dari PLN sebagai penyedia listrik utama negara. Oleh karena itu, diperlukan proses pemanfaatan energi aliran air sungai Penyungkayan sebagai pembangkit listrik yang dapat menjadi solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik warga di wilayah tersebut. Adapun kondisi sungai Penyungkayan dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 1. Sungai Penyungkayan

Sungai Penyungkayan merupakan sungai kecil yang terdiri dari beberapa sumber aliran air yang berasal dari daerah pegunungan sehingga memiliki ketersediaan air yang cukup stabil sepanjang tahun. Seperti sumber air yang saling bertemu dan membentuk sungai Penyungkayan, terdapat suatu titik dimana ada penggabungan sungai dua sungai kecil menjadi satu aliran yang lebih besar. Titik penggabungan tersebut juga terjadi antara sungai Penyungkayan dan sungai Siring Kujang. Kondisi debit aliran yang lebih besar membuat ketersediaan air menjadi lebih stabil pada titik tersebut. Selain

itu, kondisi fisik wilayah perbukitan membuat energi potensial aliran air menjadi lebih besar. Oleh karena itu, potensi aliran sungai Penyungkayan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan dalam bentuk pembangkit listrik tenaga air.

Pembangkit listrik tenaga air merupakan pembangkit yang memerlukan ketersediaan air sebagai energi penggerak utamanya. Dalam skala yang kecil, energi pembangkit listrik tenaga air dapat diperoleh dari pemanfaatan aliran sungai dengan ketersediaan air sepanjang tahun. Debit dan tinggi jatuh air (*head*) merupakan parameter penting yang perlu diperhatikan dalam pembuatan pembangkit listrik tenaga air. Hal tersebut juga diperlukan dalam pemilihan jenis turbin yang akan digunakan pada pembangkit listrik tenaga air. Oleh karena itu dibutuhkan rancang bangun turbin sistem pembangkit listrik dengan pemanfaatan potensi energi aliran sungai Penyungkayan agar proses penggunaan energi aliran sungai yang dilakukan lebih optimal sehingga kebutuhan energi listrik masyarakat dapat terpenuhi dengan baik.

B. Tujuan

Adapun tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui potensi energi aliran sungai Penyungkayan Desa Way Empulau Ulu Kecamatan Balik Bukit Kabupaten Lampung Barat dengan mengukur besarnya nilai *head* dan debit aliran sungai yang tersedia.
2. Merancang dan membuat sistem pembangkit listrik tenaga air berdasarkan potensi energi aliran yang tersedia.

3. Melakukan pengujian dan menganalisis unjuk kerja sistem pembangkit listrik tenaga air dengan potensi energi aliran yang tersedia.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan peneliti dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan dan pembuatan sistem pembangkit listrik tenaga air dilakukan dengan pemanfaatan potensi energi aliran air pada titik penggabungan antara sungai Penyungkayan dan sungai Siring Kujang yang terletak di Dusun penyungkayan Desa Way Empulau Ulu Kecamatan Balik Bukit Kabupaten Lampung Barat.
2. Proses perancangan dan pembuatan sistem pembangkit tenaga air dilakukan pada komponen pipa pesat dan komponen *power house* sistem pembangkit. Adapun komponen *power house* terdiri dari turbin, sistem transmisi dan generator.

D. Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika penulisan laporan ini terdiri dari beberapa bab dengan substansi sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan latar belakang dilakukannya rancang bangun sistem pembangkit listrik tenaga air dengan berdasarkan potensi

energi aliran yang tersedia. Selain itu, juga terdapat batasan masalah yang membatasi masalah yang dibahas dalam penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan landasan teori berupa parameter – parameter yang menjadi acuan dalam melakukan penelitian ini.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisikan waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, serta langkah-langkah dalam melakukan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan hasil yang diperoleh dari proses penelitian serta pembahasan atas hasil yang telah diperoleh tersebut.

V. PENUTUP

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang diperoleh dari pembahasan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan literatur-literatur yang menjadi referensi dalam proses penelitian ini.

LAMPIRAN

Berisikan data-data yang mendukung proses penelitian yang dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Hydropower*

Air merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia. Ketersediaannya yang melimpah membuat kemajuan pemanfaatan air dalam kehidupan sehari-hari semakin beragam. Salah satunya adalah pemanfaatan aliran air sebagai sumber energi atau yang biasa disebut dengan *hydropower*. *Hydro* yang berarti air dan *power* yang berarti tenaga sehingga dapat diartikan bahwa *hydropower* merupakan tenaga air. Dalam pemanfaatannya, tenaga air dapat diperoleh dari energi potensial aliran (dari air terjun) maupun dari energi kinetik aliran (air mengalir). Sehingga dari hal tersebut dapat diperoleh energi mekanik ataupun energi listrik yang dapat digunakan oleh manusia.

Penggunaan air sebagai sumber energi sendiri merupakan hal yang tepat untuk mengatasi krisis energi yang terjadi saat ini. Hal tersebut karena air merupakan sumber energi yang dapat di daur ulang sehingga dapat tersedia secara terus menerus tanpa perlu khawatir akan habis seperti halnya energi fosil. Pemanfaatan tenaga air yang sering dilakukan adalah dengan penggunaan kincir air sebagai pemenuhan irigasi maupun sebagai sumber energi listrik. Saat ini kincir air telah berubah menjadi turbin air dalam

teknologi yang lebih maju. Sehingga penggunaannya pada saat ini menjadi lebih banyak hal dalam kehidupan masyarakat dengan pengembangan dan jenis yang lebih beragam lagi.

Dalam pemanfaatannya sebagai energi listrik, *hydropower* memiliki berbagai tingkatan sesuai dengan kapasitas daya yang terbangkitkan oleh pemanfaatan energi air yang tersedia. Adapun beberapa jenis pembangkit listrik tenaga air berdasarkan kapasitas daya yang terbangkitkan terdapat opada tabel sebagai berikut:

Tabel 1. Jenis pembangkit listrik tenaga air berdasarkan kapasitasnya (Dandekar, 1991).

No	Jenis PLTA	Kapasitas Daya
1	PLTA Besar	>100 MW
2	PLTA Menengah	15 – 100 MW
3	PLTA Kecil	1 – 15 MW
4	PLTM (<i>Minihydro</i>)	100 kW – 1 MW
5	PLTMH (<i>Mikrohydro</i>)	5 kW – 100 kW
6	PLTA <i>Pycohydro</i>	< 5 kW

Pada penggunaannya sebagai sumber energi listrik, pada umumnya pembangkit listrik tenaga air dengan skala kecil memiliki tiga komponen penting dalam proses perubahan energi air menjadi energi listrik yakni sumber air, turbin dan generator. Secara sederhana, proses pembangkitan energi listrik dengan tenaga air memanfaatkan sumber air dengan kapasitas tertentu dan ketinggian tertentu untuk menggerakkan poros turbin yang

terhubung dengan generator sebagai penghasil daya dalam jumlah tertentu (Dandekar, 1991).

B. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

1. Tinjauan umum PLTMH

Pembangkit listrik tenaga air merupakan pembangkit yang memanfaatkan energi air sebagai penggerakannya. Dalam skala kecil, pembangkit listrik tenaga air menggunakan sumber aliran seperti aliran sungai, irigasi maupun air terjun alam. Dimana variabel yang penentu besarnya daya *output* adalah jumlah kapasitas aliran serta nilai tinggi jatuh aliran air. Kapasitas aliran dapat diartikan sebagai jumlah volume aliran air yang mengalir pada tiap satuan waktu. Pada umumnya jumlah kapasitas aliran selalu berubah ubah sesuai dengan curah hujan yang jatuh pada daerah tersebut. Sedangkan ketinggian jatuh merupakan perbedaan ketinggian jatuh dari sumber air menuju instalasi turbin pembangkit yang ada. pada dasarnya ketinggian jatuh merupakan hal yang tetap dalam jangka waktu yang lama.

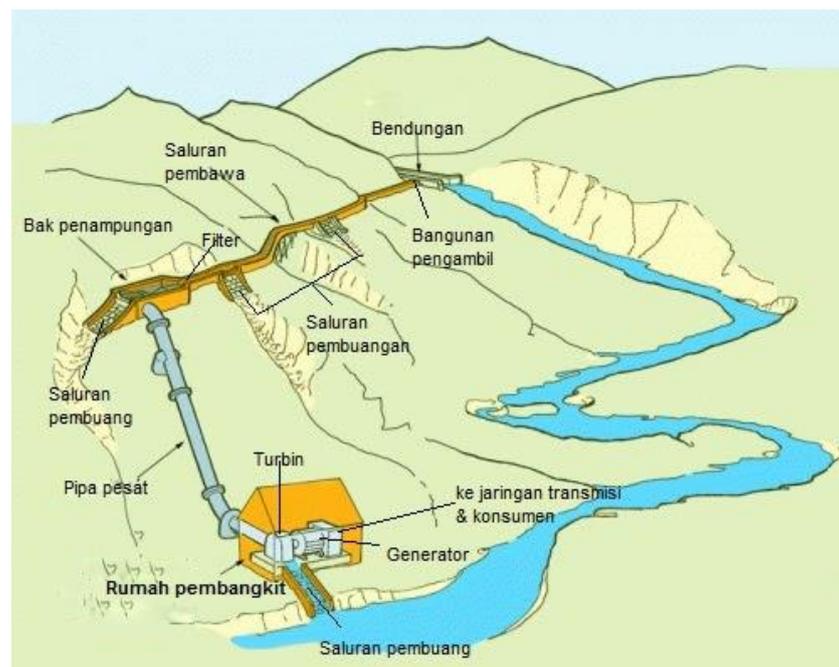
Pada dasarnya PLTMH bekerja dengan sistem *run of river* dimana nilai beda ketinggian jatuh tidak diperoleh dengan membangun bendungan yang besar, namun dengan cara mengalirkan aliran air sungai dari suatu sisi sungai yang satu menuju sisi sungai yang lain sampai jumlah beda ketinggian yang diinginkan dapat diperoleh. Aliran air dengan beda ketinggian tertentu selanjutnya dialirkan melalui pipa pesat menuju

turbin pada rumah pembangkit. Selanjutnya putaran poros turbin dimanfaatkan untuk memutar poros generator pembangkit listrik.

Penggunaan PLTMH dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik masyarakat dinilai sangat efektif dengan sistem yang sederhana dan perawatan yang cukup mudah. Oleh karena itu, penggunaan PLTMH sebagai sumber energi listrik masyarakat perlu terus dikembangkan untuk sumber energi yang efektif dan ramah lingkungan.

2. Komponen PLTMH

Terdapat beberapa komponen yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro, baik komponen utama maupun komponen berupa bangunan penunjang yang dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2. Skema PLTMH

a. Aliran sungai

Aliran sungai merupakan sumber tenaga air yang digunakan bagi PLTMH. Aliran sungai yang cocok digunakan adalah aliran sungai yang airnya mengalir sepanjang tahun. PLTMH merupakan pembangkit listrik sederhana yang mengandalkan kontinuitas air mengalir sebagai energi utama. Karakter utama aliran sungai yang dibutuhkan untuk PLTMH adalah ketersediaan air secara terus menerus dan beda ketinggian yang cukup. Pada umumnya aliran sungai yang dimanfaatkan tidak terlalu besar namun memiliki beda ketinggian yang cukup besar sehingga dapat menghasilkan daya yang optimal. Selain aliran sungai dapat juga aliran air sejenis seperti saluran irigasi ataupun air terjun sebagai sumber tenaga air bagi pembangkit listrik tenaga air dengan skala kecil.

b. Bendungan

Bendungan merupakan komponen yang digunakan sebagai penampung aliran sungai, pengarah aliran maupun pembagi aliran. Bendungan dapat berupa bangunan permanen ataupun sekedar susunan batu (bronjong) yang dapat menampung aliran air. Bahan serta struktur bendungan dapat disesuaikan dengan kondisi fisik lokasi, aliran sungai maupun kebutuhan air yang digunakan sebagai penggerak turbin. Semakin besar bangunan yang dibangun, maka semakin besar ketersediaan air yang mengalir dalam sistem pembangkit.

c. Saluran terbuka

Saluran terbuka merupakan komponen yang berfungsi sebagai penghubung antara bendungan dengan bak penenang. Apabila tidak tersedia terjunan secara alami, maka saluran terbuka sangat diperlukan untuk memperoleh beda ketinggian yang cukup untuk menggerakkan turbin dengan debit air tertentu. Dengan adanya saluran terbuka, maka debit aliran dapat diatur dan disesuaikan melalui pintu air yang tersedia pada saluran terbuka. Baik dalam bentuk sementara maupun permanen, bangunan saluran terbuka dapat disesuaikan dengan dana yang tersedia dengan fungsi yang optimal.

d. Bak penenang (*forebay*)

Bak penenang berfungsi sebagai penampung air dalam volume yang stabil dimana *input* dan *output* yang terjadi pada bak penenang akan konstan pada posisi beda ketinggian tertentu terhadap turbin penggerak. Pada umumnya bak penenang juga dipasang saringan untuk menghindari sampah masuk ke dalam bak penenang. Hal tersebut diperlukan karena air dalam bak penenang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan turbin.

e. Saluran tertutup atau pipa pesat

Saluran tertutup atau pipa pesat merupakan bagian yang berfungsi mengalirkan air menuju turbin dengan debit aliran yang stabil. Besarnya pipa pesat yang digunakan dapat

disesuaikan dengan debit air yang dibutuhkan agar turbin dapat menghasilkan daya yang paling optimal. Pipa pesat dapat terbuat dari baja ataupun pipa paralon (PVC) dengan tumpuan agar lebih kokoh. Nilai *head* dan debit mempunyai peran yang cukup penting dalam penentuan diameter pipa pesat. Perhitungan diameter pipa pesat dapat diperoleh dengan proses iterasi koefisien friksi (Pritchard dan Leylegian, 2011)

Adapun besar diameter pipa pesat dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$D = \sqrt[5]{\frac{24fLQ^2}{g\pi^2H}} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

D : Diameter pipa pesat (m)

f : Koefisien friksi

g : Percepatan gravitasi (m/s²)

Q : Debit Aliran (m³/s)

L : Panjang pipa pesat (m)

H : *Head* kotor (m)

Selain diameter pipa pesat, ketebalan pipa pesat juga dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\delta = d x \sqrt[3]{\frac{np_o}{2E}} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

δ : Ketebalan pipa (m)

d : Diameter pipa (m)

n : Faktor keamanan

$n = 2$ untuk pipa tertutup tanah

$n = 4$ untuk pipa diluar

p_o : Tekanan udara = 0,1 MPa

E : Modulus elastisitas = 200 Gpa

Penentuan diameter dan ketebalan pipa pesat merupakan hal penting yang perlu diperhatikan. Diameter pipa yang tepat diperlukan agar dapat menampung debit aliran air menuju turbin. Sedangkan tebal pipa yang tepat diperlukan agar dapat menahan tekanan akibat energi aliran yang mengalir dalam pipa (Linsley, 1989).

f. Turbin

Turbin merupakan bagian terpenting bagi sebuah pembangkit tenaga air. Turbin digunakan untuk mengubah energi aliran air menjadi energi kinetik yang memutar rotor. Penggunaan *belt* dan *pulley* diperlukan untuk menggerakkan generator dengan putaran turbin. Setiap turbin mempunyai karakteristik yang berbeda dalam menghasilkan daya secara optimal. Dalam hal ini, hal yang paling mempengaruhi adalah nilai debit yang mengalir serta beda ketinggian yang tersedia (*head*). Sehingga pemilihan jenis turbin dapat disesuaikan dengan sumber daya alam yang tersedia.

g. Generator

Generator merupakan komponen yang berfungsi sebagai pengubah energi kinetik putaran poros menjadi energi listrik. Pada umumnya, generator yang digunakan untuk PLTA dengan skala kecil adalah generator sinkron dengan arus bolak balik (AC). Keunggulan arus bolak balik adalah dapat menyalurkan daya listrik yang cukup jauh sehingga sesuai dengan kondisi pembangkit yang pada umumnya terletak jauh dari pemukiman masyarakat. Semakin tinggi kapasitas, maka semakin besar pula ukuran serta berat generator. Sehingga pada umumnya generator yang menghasilkan kapasitas daya yang cukup besar memiliki tarikan yang lebih berat. Oleh karena itu, pemilihan generator harus disesuaikan dengan kemampuan turbin penggerak serta debit aliran yang ada (Nugroho, 2015).

C. Turbin Air

Turbin air merupakan alat yang mengubah energi aliran air yang mengalir menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Energi aliran air yang mengalir memberikan tenaga pada penggerak (*runner*) turbin dan membuatnya bergerak secara berputar. Turbin air merupakan evolusi dari kincir air yang digunakan pada zaman dahulu. Menurut sejarah, turbin berasal dari penggunaan kincir air sebagai pemecah batubara dan kebutuhan pabrik gandum. Penggunaannya dapat dilihat di Aurangabad (India) yang merupakan

kincir air yang telah berumur 400 tahun. Turbin air yang digunakan saat ini merupakan kemajuan teknologi di bidang mekanika zat cair, ilmu logam serta mekanika teknik yang terus berkembang. Adapun jenis turbin air dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis sebagai berikut:

1. Berdasarkan model aliran air masuk *runner*

a. Turbin aliran aksial

Turbin aliran aksial merupakan turbin dengan arah aliran air yang masuk *runner* dan keluar *runner* sejajar dengan poros *runner*. Contoh turbin dengan aliran aksial adalah turbin kaplan. Adapun gambar turbin aliran aksial dapat dilihat sebagai berikut:

b. Turbin aliran tangensial

Turbin aliran tangensial merupakan turbin dengan arah aliran air yang masuk *runner* dan keluar *runner* tegak lurus terhadap poros turbin sehingga menyebabkan *runner* bergerak secara memutar. Contoh turbin aliran tangensial adalah turbin pelton.

c. Turbin aliran aksial-radial

Turbin aliran aksial radial merupakan turbin dengan aliran air masuk ke dalam *runner* secara radial dan keluar dari *runner* secara aksial.

2. Berdasarkan perubahan momentum fluida kerjanya

a. Turbin Impuls

Turbin impuls merupakan jenis turbin dimana semua energi potensial aliran air pada turbin dirubah menjadi energi kinetis

sebelum air menyentuh sudu-sudu runner turbin oleh alat pengubah yang biasa disebut nosel. Adapun jenis jenis turbin impuls dapat dijelaskan sebagai berikut:

1) Turbin Girard

Turbin girard merupakan turbin dimana sudu pengarah membuat air menumbuk dua kuadran yang berlawanan secara diameter. Turbin girard dapat menjadi pilihan sebagai pembangkit daya yang besar dengan ketinggian yang cukup rendah. Pada umumnya, turbin girard dapat digunakan sampai ketinggian permukaan air sebesar 500 meter dengan tingkat efisiensi sebesar 75%. Pada tingkat *head* yang rendah, agar dihasilkan daya yang optimal roda turbin dapat dijaga tetap horizontal. Kemudian untuk tingkat *head* yang tinggi, roda turbin dapat dijaga tetap vertikal agar daya yng dihasilkan lebih optimal (Paryatmo, 2007).

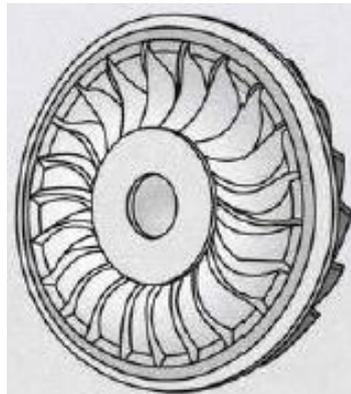


Gambar 3. Turbin Girard

Terdapat dua jenis turbin girard yakni aliran aksial dan aliran radial. Pada jenis aliran aksial, roda turbin dipasang secara vertikal sedangkan pada jenis radial, roda turbin dapat dipasang secara horizontal maupun vertikal.

2) Turbin Turgo

Turbin turgo merupakan jenis turbin dimana pancaran air menumbuk pada salah satu ujung *bucket* dan keluar pada ujung *bucket* yang lain. Pada turbin turgo, jumlah pancaran air yang besar dan diameter pancaran air yang besar akan menghasilkan kecepatan keliling yang besar meskipun ukuran diameter turbin cenderung kecil. Pada umumnya turbin turgo digunakan sebagai penggerak pembangkit daya kecil sampai medium, dengan beda ketinggian air mencapai 280 meter dan kecepatan putaran turbin sebesar 2000 rpm.

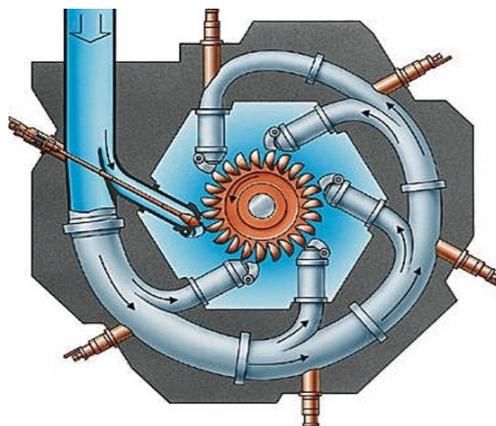


Gambar 4. Turbin Turgo

3) Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan turbin yang sering disebut juga sebagai turbin tekanan sama karena pada sudu sudu turbin tidak

terjadi perubahan tekanan, melainkan perubahan seluruhnya terjadi pada nosel yang memancarkan air, dimana energi potensial aliran air yang tinggi diubah menjadi energi kinetik. Pancaran air yang keluar dari bagian nosel akan mengarah pada pusat *bucket* sehingga terjadi perubahan momentum yang menyebabkan sudu turbin bergerak. Kecepatan keliling dari bucket sangat bergantung pada jumlah dan ukuran pancaran air yang diarahkan nosel serta kecepatannya. Oleh karena itu, pada umumnya turbin pelton digunakan pada beda ketinggian yang cukup besar agar dapat diperoleh kecepatan pancaran yang paling optimal dari nosel pemancar air (Linsley, 1986).



Gambar 5. Turbin pelton

4) Turbin aliran silang (*crossflow*)

Turbin aliran silang atau yang biasa disebut turbin *crossflow* merupakan salah satu jenis turbin impuls. Turbin ini pertama kali ditemukan oleh A. G. M. Michell yang merupakan insinyur asal Australia pada tahun 1903. Selanjutnya, insinyur yang berasal dari Jerman Barat yaitu Prof. Donat banki juga

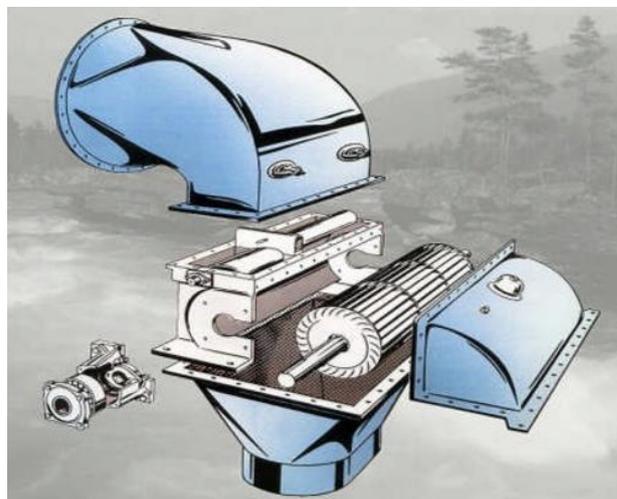
mengembangkan turbin yang sejenis sehingga turbin aliran silang ini sering disebut sebagai turbin banki-michell. Pada tahun 1933, Ossberger juga mematenkan turbin sejenis yang telah dikembangkan sehingga disebut juga turbin Michell – Ossberger (Arismunandar, 2004).

Pada dasarnya, nama turbin aliran silang cukup menggambarkan cara kerja turbin tersebut. Arah aliran air akan dilewatkan melalui sudu sudu jalan yang berbentuk silinder yang selanjutnya akan mengalir kembali menuju keluar silinder melalui sudu sudu pula. Sehingga terjadi perubahan energi mekanik sebanyak dua kali ketika aliran air memasuki silinder dan keluar dari silinder (Dietzel, 1988).

Untuk pembangkit daya skala kecil, turbin aliran silang dinilai sangat efektif untuk digunakan. Bentuknya yang sederhana sehingga memudahkan proses pembuatan. Selain itu, penghematan biaya juga dapat diraih dengan penggunaan turbin aliran silang pada pembangkit skala kecil (mikrohidro). Hasil penelitian yang dilakukan oleh pabrik turbin Ossberger di Jerman membuktikan bahwa turbin dengan jenis yang paling unggul sekalipun hanya dapat menghasilkan tingkat efisiensi sebesar 70%, namun turbin aliran silang dapat menghasilkan tingkat efisiensi yang lebih tinggi dengan nilai sebesar 82% (Haimerl, 1960).

Proses pembuatan yang sederhana membuat turbin aliran silang dinilai sebagai teknologi tepat guna yang memiliki prospek yang cerah untuk diterapkan pada setiap lapisan masyarakat. Setiap komponen yang ada pada turbin aliran silang dapat dibuat dibengkel dengan peralatan yang sederhana seperti mesin gerinda, mesin bubut, mesin las listrik, mesin bor dan peralatan kerja bangku.

Tidak seperti turbin pelton yang memerlukan proses produksi yang sulit dalam pembuatan sudu-sudunya, proses pembuatan turbin aliran silang lebih sederhana dengan pemotongan sudu sudu yang dapat dilakukan dengan mesin gerinda potong maupun perangkaian sudu – sudu yang dapat menggunakan mesin las listrik. Sehingga setiap masyarakat dapat mewujudkan kemandirian energi listrik dengan penerapan turbin aliran silang dengan pembuatan sederhana untuk pembangkit daya listrik skala kecil atau yang biasa disebut mikrohidro.



Gambar 6. Turbin aliran silang

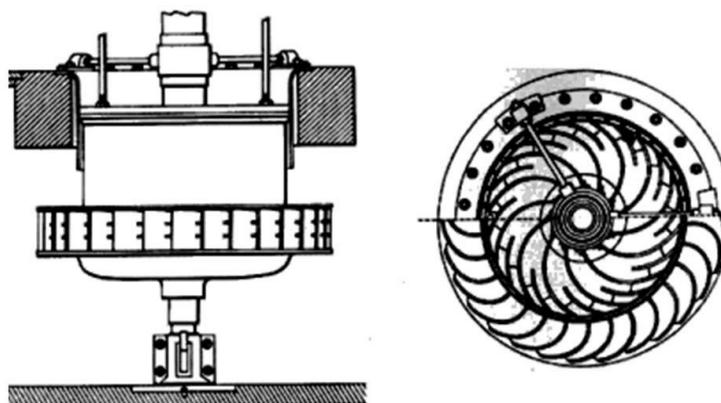
b. Turbin reaksi

Turbin reaksi merupakan jenis turbin dimana seluruh energi potensial dari aliran air dirubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan begitu maka putaran *runner* disebabkan oleh perubahan momentum air. Adapun jenis – jenis turbin reaksi dijelaskan sebagai berikut:

1) Turbin Fourneyron

Turbin fourneyron merupakan turbin reaksi dengan aliran ke luar (*outward flow*). Turbin jenis ini memiliki *gate* yang dapat diatur dengan mekanisme *governor*. Roda turbin pada umumnya dibagi menjadi beberapa kompartmen dimana ketika turbin bekerja dengan beban parsial maka hanya efisiensi kompartmen tersebut yang akan mempengaruhi tingkat efisiensi turbin.

Turbin jenis ini dapat digunakan pada beda ketinggian 1 – 100 meter. Tingkat efisiensi turbin dapat menjadi lebih besar jika ditambahkan *diffuser* berbentuk bulat pada sekeliling cincin sudu geraknya dengan fungsi yang mirip dengan fungsi *draft tube*.



Gambar 7. Turbin Fourneyron

2) Turbin Jonval

Turbin jonval merupakan turbin reaksi dengan jenis aliran ke arah dalam (*inward flow*). Untuk mengatur putaran, maka pemangkasan suplai aliran dilakukan ke salah satu atau lebih saluran pengarah dengan bentuk *head* yang bulat. Setiap kompartmen konsentris pada turbin jonval memiliki bentuk sedemikian rupa sehingga setiap kompartmen dapat membentuk turbin secara utuh. Kontruksi tersebut membuat penutupan satu atau lebih kompartmen menjadi lebih sempurna. Pada umumnya turbin jonval digunakan pada beda ketinggian 1 – 50 meter dnegan tingkat putaran sebesar 20 – 400 rpm.



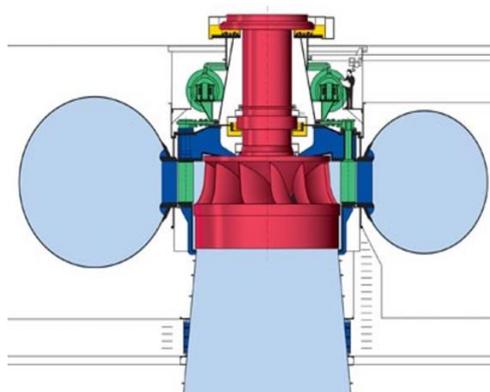
Gambar 8. Turbin Jonval

3) Turbin Francis

Turbin francis merupakan jenis turbin reaksi dengan tekanan lebih. Konstruksi turbin terdiri dari sudu pengarah dan sudu jalan. Kedua bagian tersebut terendam ke dalam aliran air. Perubahan energi seluruhnya terjadi dalam sudu pengarah dan sudu jalan dimana aliran air mengalir melalui sebuah terusan

yang biasa disebut rumah siput. Rumah siput berfungsi sesuai dengan tinggi terjun dan kapasitasnya dengan menahan beban tekanan hidrolik yang dapat diterima oleh turbin. Rumah siput umumnya terbuat dari plat baja, besi cor ataupun baja cor.

Aliran air yang memasuki rumah siput selanjutnya akan bergerak ke dalam *runner* melalui sederet sudu sudu pengarah dengan celah celah penyempitan yang mengubah tinggi tekan menjadi tinggi kecepatan. Sudu sudu pengarah ini diatur sedemikian rumah sehingga dapat mengendalikan aliran air yang masuk ke turbin. Aliran air yang masuk ke dalam turbin francis pada awalnya merupakan aliran radial yang kemudian diubah menjadi aliran aksial. Turbin pada umumnya dipasang pada poros vertikal meskipun dapat juga diposisikan dalam sumbu poros horizontal (Patty, 1995).

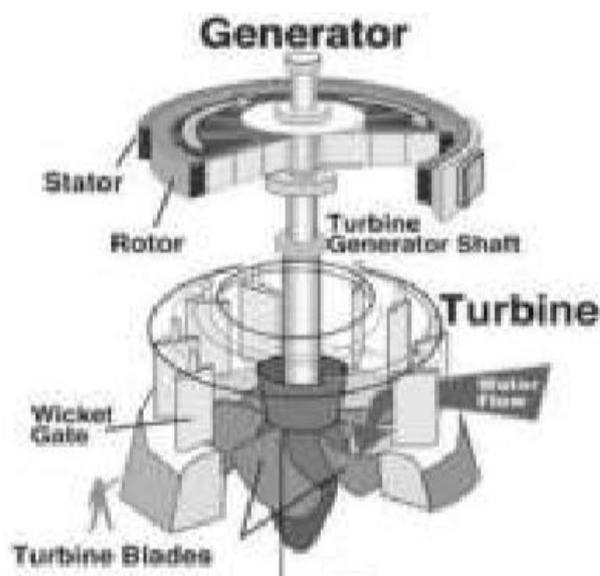


Gambar 9. Turbin francis

4) Turbin Kaplan

Turbin kaplan merupakan jenis turbin reaksi dengan tekanan lebih yang spesial. Sudu jalan pada turbin kaplan memiliki

kemurnian dan belokan yang kecil. Selain itu, sudu jalan juga dapat diatur ketika bekerja. Kedudukan sudu jalan dapat disesuaikan dengan tinggi jatuh aliran air sehingga dinilai sesuai untuk pusat tenaga air yang ada pada aliran sungai. Pengaturan sudu jalan dilakukan dengan suatu mekanisme didalam sumbu *runner* yang dijalankan secara hidrolis oleh suatu alat pengatur selaras dengan pengaturan sudu sudu pengatur. Karena turbin bekerja dengan aliran aksial maka generator dapat dipasang diluar jalur aliran air ataupun diletakkan didalam kerangka baja yang kedap air berjalur halus yang dipasang ditengah jalur aliran air (Dandekar, 1991).



Gambar 10. Turbin kaplan

D. Karakteristik Turbin Air

Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi kerja suatu turbin. Salah satu hal yang penting adalah debit aliran air yang bekerja pada turin. Debit merupakan

banyaknya volume air yang mengalir pada satu satuan waktu. Debit dapat dinyatakan dalam satuan meter kubik per sekon (m^3/s). Adapun persamaan untuk menghitung debit adalah sebagai berikut:

$$Q = v \times A \dots\dots\dots (3)$$

Dimana v merupakan kecepatan aliran air yang mengalir dan A merupakan luas penampang aliran. Dengan mengetahui debit aliran air, maka dapat diketahui parameter kerja turbin air yang lainnya. Salah satu parameter kerja turbin air adalah daya hidrolisis. Daya hidrolisis merupakan daya yang dihasilkan oleh energi hidrolisis yang berasal dari aliran air. Adapun persamaan untuk menghitung daya hidrolisis adalah sebagai berikut:

$$P_H = \rho \times g \times Q \times H \dots\dots\dots (4)$$

Dimana ρ merupakan massa jenis air, g merupakan percepatan gravitasi bumi, Q merupakan debit aliran air serta H merupakan *head* aliran yang tersedia. Parameter selanjutnya yang perlu diperhitungkan adalah daya turbin yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_T = \frac{2\pi \times nT}{60} \dots\dots\dots (5)$$

Selain menggunakan persamaan diatas, besarnya daya turbin dapat pula ditinjau dari nilai daya generator yang dihasilkan. Maka selanjutnya dapat dihitung pula daya yang dihasilkan oleh berputarnya generator dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_G = V_G \times I_G \dots\dots\dots (6)$$

Bila parameter daya yang diperlukan telah diperoleh maka dapat dihitung tingkat efisiensi yang ada pada turbin dan generator. Efisiensi turbin merupakan rasio antara daya hidrolisis yang tersedia dengan daya turbin yang dihasilkan. Sedangkan efisiensi generator merupakan rasio antara daya turbin yang ada dengan daya generator yang dihasilkan oleh generator. Adapun nilai perhitungan efisiensi turbin dan efisiensi generator dapat diperoleh dengan masing masing persamaan sebagai berikut:

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_H} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\eta_G = \frac{P_G}{P_T} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

Selain efisiensi turbin dan generator, dapat juga diperoleh tingkat efisiensi PLTA yang merupakan rasio antara daya yang dihasilkan generator terhadap daya hidrolisis yang tersedia dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{PLTA} = \frac{P_G}{P_H} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (9)$$

E. Kriteria Pemilihan Turbin

Setiap turbin air memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Sehingga diperlukan pemilihan yang tepat agar diperoleh kesesuaian antara energi yang tersedia serta energi yang ingin dihasilkan. Pada dasarnya, pada, tinggi jatuh air (*head*) dan debit aliran merupakan faktor utama yang bekerja pada turbin air. Perbedaan jenis turbin mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap nilai *head* serta debit yang tersedia pada aliran. Faktor daya yang ingin dihasilkan juga menjadi hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan

turbin. Untuk menghasilkan daya yang sesuai, maka diperlukan turbin yang bekerja secara optimal pada head dan debit yang tersedia. Selain itu, kecepatan spesifik juga dapat mempengaruhi pemilihan turbin. Sebagai contoh, turbin dengan kecepatan spesifik yang besar akan berbeda daya yang dihasilkan dibandingkan dengan turbin dengan kecepatan spesifik yang rendah pada penggunaan sistem transmisi generator yang sama. Penjelasan mengenai setiap faktor pemilihan turbin terdapat pada penjelasan sebagai berikut:

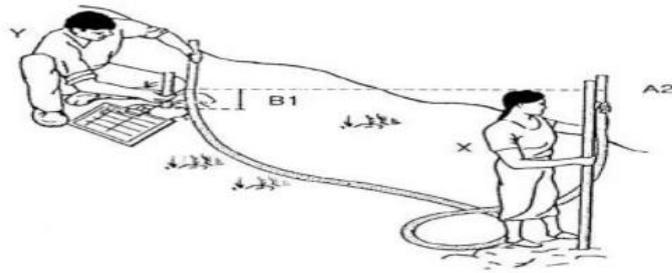
1. Berdasarkan *head* aliran

Nilai *head* suatu pembangkit dipengaruhi oleh sistem pemipaan yang tersedia dari permukaan air sumber sampai bagian turbin penggerak. *Head* kotor (*gross head*) merupakan tinggi jatuh secara vertikal antara permukaan air sumber sampai titik keluaran air menuju turbin penggerak. Sedangkan *head loss* merupakan rugi rugi daya yang dihasilkan dari sistem pemipaan antara permukaan air sumber sampai keluaran air menuju turbin penggerak. *Head loss* dapat disebabkan karena gesekan aliran dalam pipa (*head loss mayor*) maupun karena kerugian perlengkapan dalam sistem pemipaan seperti sambungan, percabangan, penggabungan katub dan lain lain (*head loss minor*). Adapun penentuan nilai *head* dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. *Head* kotor

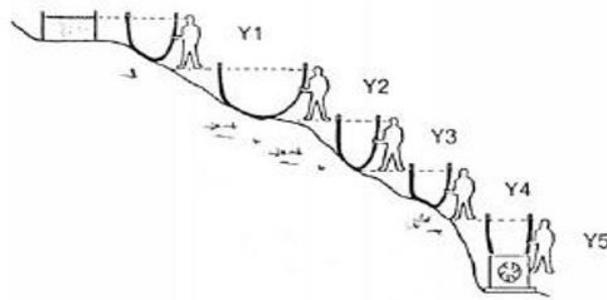
Penentuan nilai *head* kotor dapat dilakukan dengan cara pengukuran secara langsung. Adapun tahapan pengukuran yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan selang plastik, benang nilon serta meteran untuk mengukur elevasi.
- 2) Isi selang plastik dengan air dan lakukan pengukuran dari titik tertinggi permukaan air yang berada pada bak penenang menuju titik yang lebih rendah. Kemudian ukur elevasi yang terjadi dengan meteran.



Gambar 11. Pengukuran dari titik tinggi ke titik rendah

- 3) Tandai titik yang telah diukur dan ulangi proses sebelumnya untuk titik selanjutnya yang lebih rendah.
- 4) Lanjutkan proses pengukuran sampai di lokasi turbin ditempatkan dan jumlahkan seluruh hasil yang terukur untuk memperoleh *head* kotor sistem.



Gambar 12. Tahapan pengukuran *head* sistem

b. *Headloss mayor*

Headloss mayor atau kerugian akibat gesekan aliran dalam pipa dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_f = f \frac{L.V^2}{D.2g} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

f = Koefisien kerugian gesek

L = Panjang pipa (m)

V = Kecepatan rata-rata aliran dalam pipa (m/s)

D = Diameter pipa (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

c. *Headloss minor*

Headloss minor dapat diperoleh dengan beberapa persamaan sesuai dengan penyebab kerugian yang terjadi (Sularso, 2000). Untuk *inlet loss* dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_e = \frac{f_e.V_p}{2g} \dots\dots\dots (11)$$

Dengan f_e merupakan koefisien bentuk *inlet*. Pada penggunaan *valve*, maka *valve loss* yang dihasilkan dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_e = \frac{f_v.V_p}{2g} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana f_v merupakan koefisien jenis katup yang digunakan. Pada penggunaan belokan, maka rugi-rugi yang disebabkan oleh belokan

pada pipa yang dihasilkan dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_o = 0,1 x (Hf + He + Hv) \dots\dots\dots (13)$$

d. *Head* total

Head total merupakan *head* kotor (*gross head*) dikurangi rugi rugi daya yang dihasilkan (*headloss*). Sehingga dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_{\text{nett}} = (H \text{ kotor} - (\text{headloss mayor} + \text{headloss minor})) \dots\dots (14)$$

Dengan mengetahui *head* total yang tersedia, maka dapat dilakukan pemilihan turbin dengan berdasarkan nilai *head* yang tersedia. Adapun penggunaan jenis turbin berdasarkan nilai *head* yang tersedia dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2. Penggunaan turbin berdasarkan nilai *head* (Dietzel, 1989)

Nilai Head (m)	Jenis Turbin
2 – 20	Kaplan dan <i>Plopeller</i>
6 – 100	<i>Crossflow</i>
10 – 350	Francis
50 – 250	Turgo
50 – 1000	Pelton

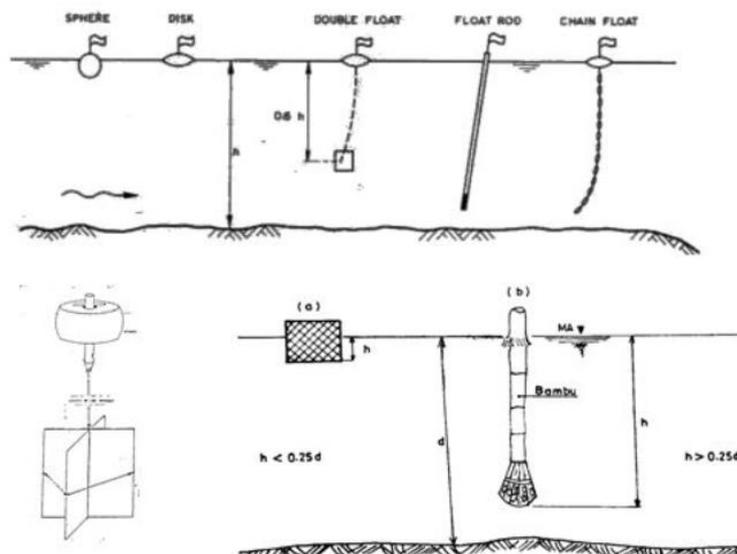
2. Berdasarkan debit aliran

Selain dipengaruhi oleh nilai *head*, pemilihan jenis turbin juga dapat dipengaruhi nilai debit aliran yang tersedia. Debit merupakan volume

aliran air yang melalui sebuah penampang pada satuan waktu (m^3/s). Sehingga dapat diketahui bahwa faktor utama pengukuran debit adalah kecepatan aliran dan luas penampang aliran. Terdapat beberapa cara dalam menentukan kecepatan aliran sungai. Adapun cara pengukuran kecepatan aliran sungai dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Pengukuran kecepatan aliran dengan pelampung

Penggunaan pelampung sebagai alat ukur kecepatan merupakan metode yang paling sederhana. Prinsip kerjanya adalah bahwa pelampung yang bergerak oleh arus dan kecepatan arus dapat diperoleh dengan membagi jarak tempuh dengan waktu tempuh. Adapun jenis pelampung dapat berupa pelampung permukaan, pelampung ganda, pelampung tongkat dan lain lain.



Gambar 13. Jenis-jenis pelampung

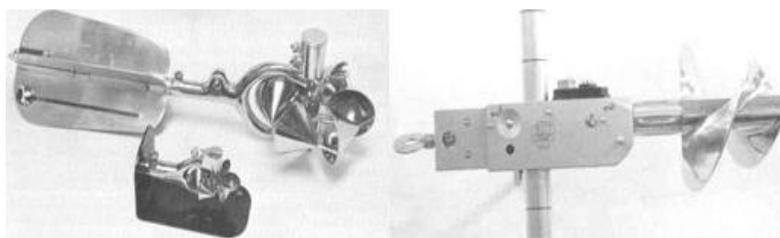
Penggunaan metode pelampung ini digunakan karena prinsip kerjanya yang mudah meskipun permukaan air sungai tersebut tinggi. Metode ini juga tidak dipengaruhi oleh kotoran atau barang

barang yang hanyut dan mudah dilaksanakan. Namun metode ini memiliki tingkat ketelitian yang masih rendah dengan koefisien sekitar 0,7 sampai 0,9. Sehingga hasil pengukuran kecepatan aliran dapat dikalikan dengan koefisien tersebut terlebih dahulu.

b. Pengukuran kecepatan aliran dengan *current meter*

Pengukuran kecepatan aliran dengan menggunakan *current meter* dapat menjadi pilihan untuk memperoleh hasil pengukuran yang lebih teliti. *Current meter* pada umumnya digunakan dengan memanfaatkan perputaran propeler. Propeler pada *current meter* akan berputar akibat partikel air yang melewatinya. Jumlah putaran propeler tiap satuan waktu dapat memberikan hasil kecepatan arus aliran yang sedang diukur bila dikalikan dengan rumus kalibrasi *current meter* tersebut.

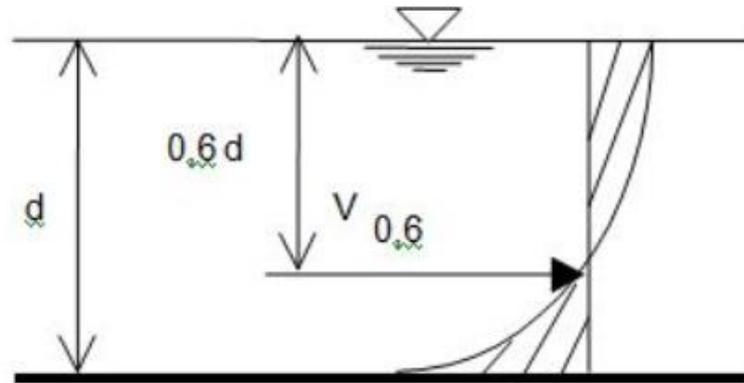
Terdapat beberapa jenis *currentmeter* yang digunakan pada umumnya. *Current meter* yang menggunakan sumbu propeler yang sejajar dengan arah arus dapat disebut *ott propeler current meter*. Sedangkan untuk *current meter* dengan sumbu propeler yang tegak lurus terhadap arah arus aliran disebut *price cup current meter*.



Gambar 14. *Current meter*

Penggunaan *current meter* dalam pengukuran debit airan dapat dilakukan dengan beberapa metode sebagai berikut (Audli, 2014):

1) Metode satu titik

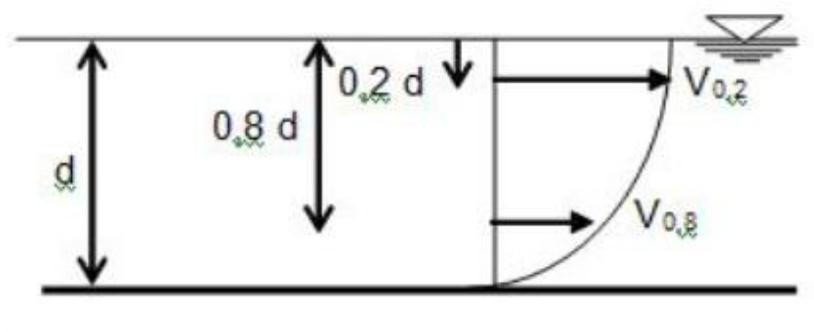


Gambar 15. Metode satu titik

Metode satu titik dapat digunakan pada pengukuran kecepatan aliran sungai yang dangkal. Pengukuran dilakukan pada kedalaman 0,6 h. Adapun kecepatan aliran dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = 0,6V \dots\dots\dots (15)$$

2) Metode dua titik



Gambar 16. Metode dua titik

Metode dua titik dapat dilakukan pada kedalaman 0,2 h dan 0,8 h. Sehingga diperoleh dua referensi kecepatan aliran. Adapun kecepatan rata-rata aliran dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = \frac{V_{0,2} + V_{0,8}}{2} \dots\dots\dots (16)$$

3) Metode tiga titik

Metode tiga titik dilakukan untuk pengukuran kecepatan aliran pada tiga titik referensi, yakni titik 0,2 h, 0,6 h dan 0,8 h. Adapun kecepatan rata-rata aliran dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = \frac{V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8}}{3} \dots\dots\dots (17)$$

4) Metode lima titik

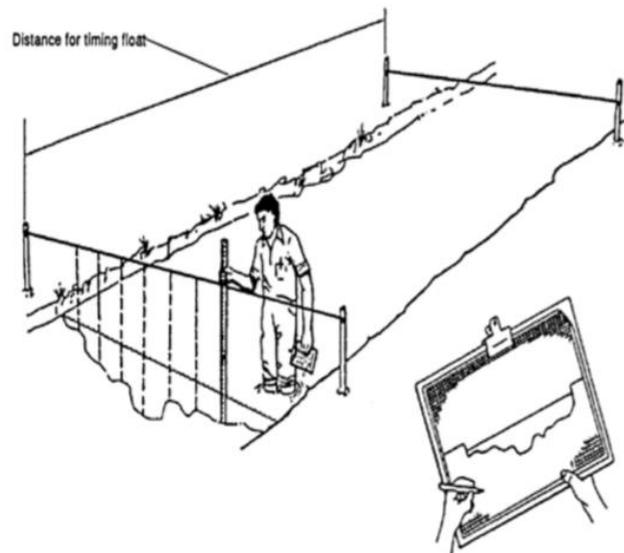
Metode lima titik dilakukan untuk pengukuran kecepatan aliran pada lima titik kedalaman. Kecepatan rata-rata aliran dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = \frac{V_s + 3V_{0,2} + 2V_{0,6} + 3V_{0,8} + V_b}{10} \dots\dots\dots (18)$$

Dimana V_s merupakan kecepatan aliran pada permukaan atas dan V_b merupakan kecepatan aliran pada permukaan bawah aliran. Semakin banyak titik yang terukur maka akan menghasilkan nilai akurasi yang lebih besar. Sehingga metode lima titik dapat digunakan untuk memperoleh nilai akurasi yang lebih baik.

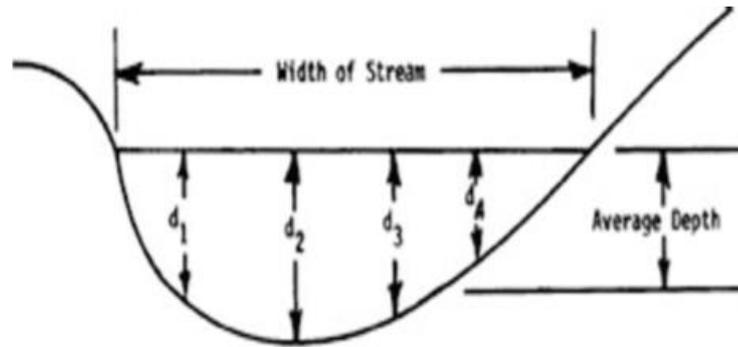
Selain pengukuran kecepatan aliran, pengukuran luas penampang juga diperlukan untuk memperoleh nilai debit aliran sungai. Pada umumnya permukaan sungai merupakan permukaan yang tidak rata sehingga perlu cara khusus untuk dapat mengukur luas penampang aliran sungai. Adapun pengukuran luas penampang aliran dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Memilih bagian sungai yang memiliki luas penampang yang cukup rata
- b. Membatasi luas penampang sungai yang akan diukur dengan tali atau tanda yang lain.
- c. Membagi luas penampang aliran menjadi beberapa segmen
- d. Menghitung luas penampang setiap segmen yang telah dibagi dan menjumlahkan total luas penampang sungai.



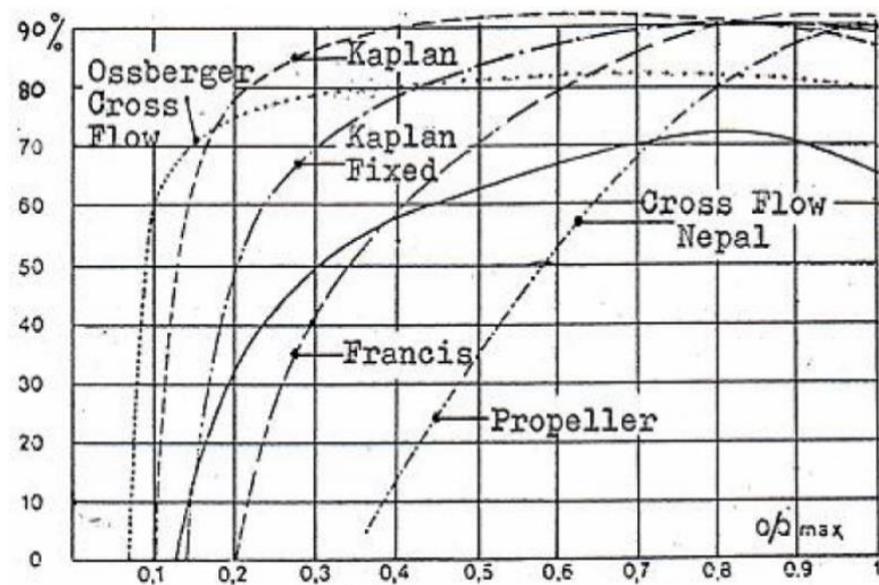
Gambar 17. Pengukuran luas penampang dalam beberapa segmen

- e. Mengukur kedalaman setiap segmen kemudian menentukan nilai rata-rata kedalaman sungai (Sulistiyono, 2013).



Gambar 18. Penentuan kedalaman rata-rata sungai

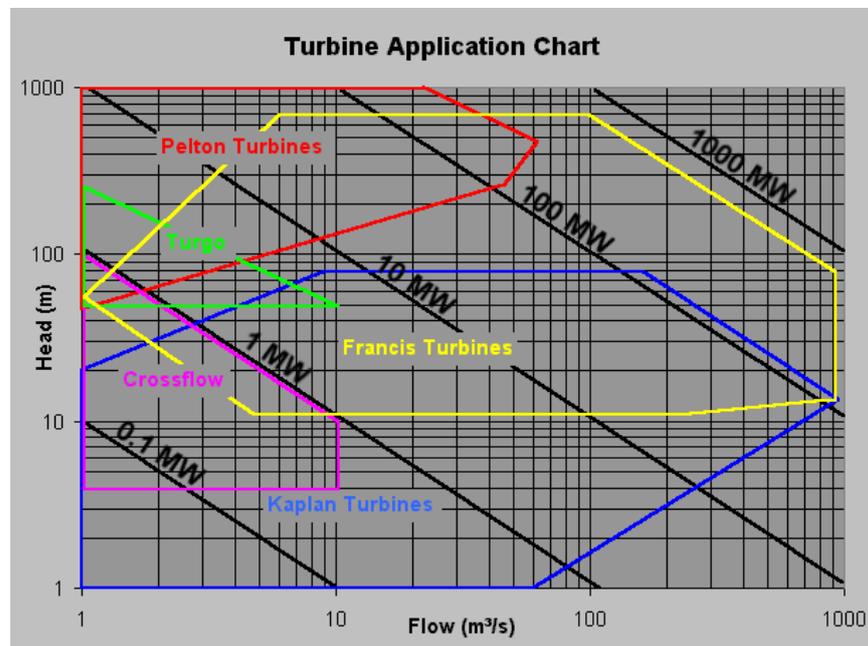
Perbedaan nilai debit dapat menghasilkan nilai daya hidrolis yang berbeda. Daya hidrolis merupakan daya yang dihasilkan oleh energi aliran air yang tersedia. Setiap turbin memiliki respon yang berbeda terhadap nilai debit yang digunakan. Adapun pengaruh perbedaan debit terhadap efisiensi turbin dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 19. Grafik pengaruh debit terhadap efisiensi turbin

Grafik diatas menunjukkan bahwa pada penggunaan debit yang berbeda terhadap nilai debit maksimal akan mempengaruhi nilai efisiensi setiap

jenis turbin. Sehingga penggunaan debit sangat mempengaruhi efisiensi kerja setiap jenis turbin. Bila debit dan *head* aliran sudah dapat diketahui, maka pemilihan jenis turbin dapat juga dilakukan dengan memperhatikan grafik yang dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 20. Grafik pemilihan jenis turbin berdasarkan debit dan head

3. Berdasarkan kecepatan spesifik

Kecepatan spesifik suatu turbin merupakan salah satu parameter penting dalam proses pemilihan turbin. Kecepatan spesifik merupakan kecepatan *runner* turbin untuk setiap daya efektif yang dapat dihasilkan pada setiap tinggi jatuh (Patty, 1994). Adapun persamaan yang digunakan untuk memperoleh kecepatan spesifik adalah sebagai berikut:

$$N_s = \frac{N \cdot \sqrt{P}}{H e f s^{\frac{5}{4}}} \dots \dots \dots (19)$$

Dimana :

N = Kecepatan putaran turbin (rpm)

P = Daya output turbin (kW)

H_{efs} = Tinggi jatuh efektif (m)

Dengan mengetahui kecepatan spesifik turbin maka dapat dilakukan pemilihan turbin berdasarkan kecepatan spesifik yang dihasilkan. Adapun jenis turbin berdasarkan kecepatannya adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Jenis turbin berdasarkan kecepatan spesifik (Penche, 1998)

Kecepatan Spesifik	Jenis Turbin
10 – 35	Pelton dan kincir air
60 – 300	Francis
40 – 200	<i>Crossflow</i>
250 – 1000	Kaplan dan <i>Propeller</i>

F. Perancangan *Runner Turbin Crossflow*

Runner adalah bagian utama dari turbin *crossflow* yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Perputaran *runner* diakibatkan oleh gaya dorong air yang menumbuk pada sudu *runner*. Bentuk *runner* turbin *crossflow* terdiri dari sudu-sudu yang bertumpu pada lempengan lingkaran pada kedua sisinya. Selain itu, turbin

crossflow memiliki nosel yang berfungsi untuk mengarahkan dan mengatur kapasitas aliran air yang menumbuk sudu-sudu *runner*. Adapun perancangan *runner* turbin *crossflow* terdiri dari beberapa parameter sebagai berikut (Mockmore dan Merryfield, 1949):

1. Diameter dan lebar *runner*

Untuk mengetahui diameter dan lebar *runner* maka diperlukan perhitungan luas *runner* dimana luas *runner* dapat diketahui dengan prinsip kontinuitas bahwa nilai debit dapat diketahui dengan menghitung luas dan kecepatan fluida. Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Q = k \cdot L \cdot D_1 \cdot v \dots\dots\dots(20)$$

$$v = C \cdot \sqrt{2 g H_e} \dots\dots\dots(21)$$

$$Q = k \cdot L \cdot D_1 \cdot C \cdot \sqrt{2 g H_e} \dots\dots\dots(22)$$

Sehingga dapat diperoleh persamaan luas *runner*:

$$L \cdot D_1 = \frac{Q}{k \cdot C \cdot \sqrt{2 g H_e}} \dots\dots\dots(23)$$

K merupakan koefisien eksperimen/konstanta dengan rentang nilai 0,075 - 0,1 dengan C merupakan koefisien nosel. Jika diasumsikan k sebesar 0,0875 dan C sebesar 0,98, maka diperoleh persamaan:

$$L \cdot D_1 = \frac{Q}{0,0875 \cdot 0,98 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot H_e}} \dots\dots\dots(24)$$

$$L \cdot D_1 = \frac{Q}{0,08575 \cdot \sqrt{19,62 H_e}} \dots\dots\dots(25)$$

$$L \cdot D_1 = 2,63 \frac{Q}{\sqrt{H_e}} \dots\dots\dots(26)$$

Berdasarkan persamaan tersebut maka dapat diperoleh diameter *runner* dengan menentukan lebar *runner* turbin. adapun persamaan untuk menghitung diameter *runner* adalah sebagai berikut:

$$D_1 = 2,63 \frac{Q}{L \sqrt{H_e}} \dots \dots \dots (27)$$

Dimana:

L = Lebar runner turbin (m)

D_1 = Diameter luar runner (m)

v = Kecepatan aliran (m/s)

k = Koefisien eksperimen konstanta (0,075-0,1)

C = Koefisien nosel

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

Q = Debit aliran (m^3/s)

H_e = Head efektif (m)

2. Diameter dalam runner

Diameter dalam dihitung berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Dimana pada penelitian yang telah dilakukan, diameter dalam *runner* yang sering digunakan memiliki rasio 0,66 atau $2/3$ diameter luar *runner* (Mockmore, and Merryfield, 1949). Sehingga persamaan diameter dalam *runner* yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$D_2 = \frac{2}{3} D_1 \dots \dots \dots (28)$$

3. Kecepatan maksimal *runner*

Kecepatan *runner* turbin dapat diketahui berdasarkan kecepatan keliling turbin serta diameter luar *runner* dengan persamaan sebagai berikut:

$$u_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60} \dots\dots\dots (29)$$

Dengan

$$u_1 = \frac{v_1 \cos \alpha_1}{2} \dots\dots\dots (30)$$

Maka

$$\frac{v_1 \cos \alpha_1}{2} = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60} \dots\dots\dots (31)$$

$$\frac{C \cdot \sqrt{2 g H_e} \cdot \cos \alpha_1}{2} = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60} \dots\dots\dots (32)$$

Sehingga

$$n = \frac{60 \cdot C \cdot \sqrt{2 g H_e} \cdot \cos \alpha_1}{2 \pi \cdot D_1} \dots\dots\dots (33)$$

$$n = \frac{41,47 \cdot \sqrt{H_e} \cdot \cos \alpha_1}{D_1} \dots\dots\dots (34)$$

Dimana :

u_1 = kecepatan keliling *runner* (m/s)

n = kecepatan putaran *runner* (rpm)

α_1 = Sudut nosel ($^{\circ}$)

4. Tebal semburan nosel

Nosel pada turbin *crossflow* berbentuk persegi panjang dengan lebar yang sesuai dengan lebar *runner* turbin. Besarnya tebal semburan nosel

(S_1) dapat diperoleh dengan persamaan untuk menentukan nilai debit sebagai berikut:

$$Q = A \cdot V \dots \dots \dots (35)$$

$$Q = S_1 \cdot L \cdot C \cdot \sqrt{2 g H_e} \dots \dots \dots (36)$$

Sehingga persamaan tebal semburan nosel :

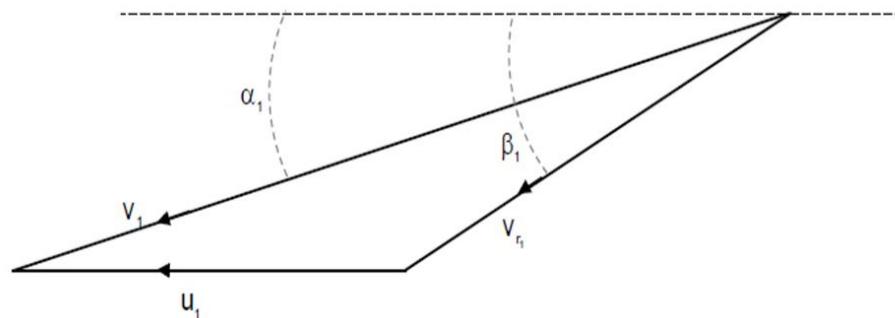
$$S_1 = \frac{Q}{L \cdot C \cdot \sqrt{2 g H_e}} \dots \dots \dots (37)$$

$$S_1 = \frac{Q}{L \cdot 0,98 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 H_e}} \dots \dots \dots (38)$$

$$S_1 = 0,23 \frac{Q}{L \cdot \sqrt{H_e}} \dots \dots \dots (39)$$

5. Sudut sudu

Sudu sudu merupakan sudut yang terbentuk antara dua buah kecepatan yakni kecepatan keliling *runner* turbin serta kecepatan relatif dari air. Adapun segitiga kecepatan yang menunjukkan besarnya sudut sudu dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 21. Segitiga kecepatan sudu

Gambar 21 menunjukkan sudut sudu pada bagian inlet *runner*. Besarnya sudut sudu memiliki pengaruh penting pada unjuk kerja turbin

crossflow. Dimana untuk memperoleh efisiensi maksimum sudut dari kurva sudu-sudu harus sama atau mendekati sudut β_1 . Berdasarkan Gambar 21 diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$v_1 \cos \alpha_1 = u_1 + v_{r1} \cos \beta_1 \dots \dots \dots (40)$$

Dengan

$$u_1 = \frac{v_1 \cos \alpha_1}{2} \dots \dots \dots (41)$$

Maka

$$v_{r1} \cos \beta_1 = v_1 \cos \alpha_1 - u_1 \dots \dots \dots (42)$$

$$v_{r1} \cos \beta_1 = v_1 \cos \alpha_1 - \frac{v_1 \cos \alpha_1}{2} \dots \dots \dots (43)$$

$$v_{r1} \cos \beta_1 = \frac{v_1 \cos \alpha_1}{2} \dots \dots \dots (44)$$

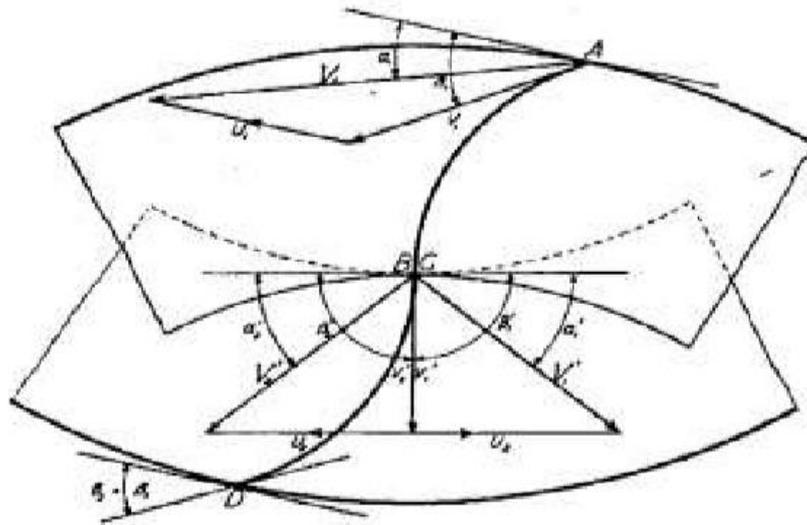
Sehingga

$$\tan \beta_1 = \frac{v_1 \sin \alpha_1}{\frac{v_1}{2} \cos \alpha_1} \dots \dots \dots (45)$$

$$\tan \beta_1 = 2 \tan \alpha_1 \dots \dots \dots (46)$$

Berdasarkan persamaan tersebut, maka bila diasumsikan bahwa sudut nosel terendah yang dapat dibuat tanpa mengalami kesulitan dalam pembuatan adalah $\alpha_1 = 16^\circ$, maka besar sudut $\beta_1 = 29^\circ 50'$ atau sama dengan 30° .

Sedangkan pada sudut keluar bagian dalam runner turbin dapat diketahui berdasarkan gambar sebagai berikut:



Gambar 22. Segitiga kecepatan gabungan

Gambar 22 menunjukkan sudu masuk bersama sudu keluar berhimpit pada titik B dan C. Untuk memperoleh aliran yang radial, sudut yang digunakan adalah 90° . Bila asumsi sudut $\beta_2 = 90^\circ$ tidak berhimpit dengan sudut sudu turbin sehingga dapat terjadi rugirugi akibat tumbukan tiba-tiba. Oleh karena itu, pada umumnya sudut yang digunakan adalah sama dengan atau lebih besar dari 90° .

6. Jarak antar sudu

Tebal sembuhan nosel pada sudu masuk serta pada sudu keluar sesuai dengan perbandingan diameter dalam serta diameter luar *runner*. Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

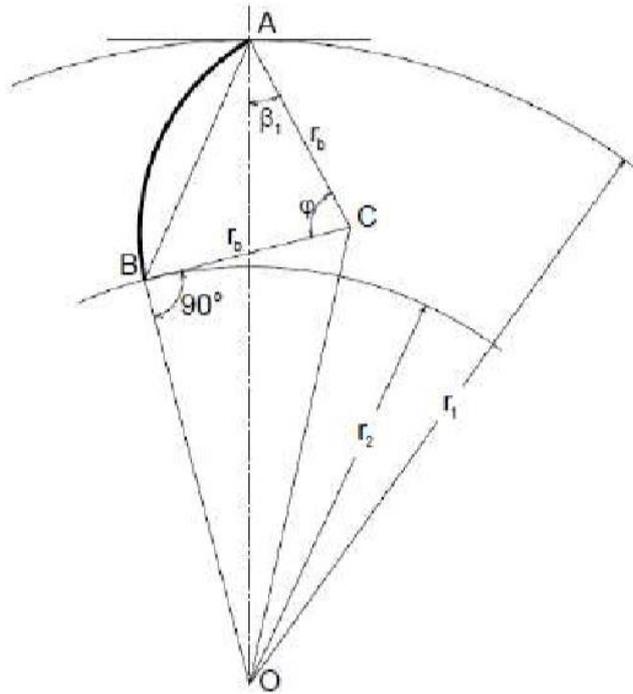
$$S_1 = k \cdot D_1 \dots \dots \dots (47)$$

$$t_1 = \frac{S_1}{\sin \beta_1} \dots \dots \dots (48)$$

$$t_1 = \frac{k \cdot D_1}{\sin \beta_1} \dots \dots \dots (49)$$

7. Jari-jari kelengkungan sudu

Penentuan jari-jari kelengkungan sudu dapat diperoleh dari gambar sebagai berikut:



Gambar 23. Jari-jari kelengkungan sudu

Berdasarkan Gambar 23 tersebut maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$r_2^2 + r_b^2 = r_1^2 + r_b^2 - 2 \cdot r_1 \cdot r_b \cdot \cos \beta_1 \dots \dots \dots (50)$$

$$r_2^2 + r_b^2 - r_1^2 - r_b^2 = -2 \cdot r_1 \cdot r_b \cdot \cos \beta_1 \dots \dots \dots (51)$$

$$r_2^2 - r_1^2 = -2 \cdot r_1 \cdot r_b \cdot \cos \beta_1 \dots \dots \dots (52)$$

$$r_1^2 - r_2^2 = 2 \cdot r_1 \cdot r_b \cdot \cos \beta_1 \dots \dots \dots (53)$$

$$r_b = \frac{r_1^2 - r_2^2}{2 \cdot r_1 \cdot \cos \beta_1} \dots \dots \dots (54)$$

Bila diketahui bahwa rasio diameter dalam serta diameter luar adalah 2/3, maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$r_b = \frac{r_1^2 - (\frac{2}{3}r_1)^2}{2.r_1.\cos \beta_1} \dots\dots\dots (55)$$

$$r_b = \frac{0,555r_1^2}{2.r_1.\cos \beta_1} \dots\dots\dots (56)$$

8. Jumlah sudu

Jumlah sudu adalah salah satu yang perlu diperhatikan agar proses pembuatan lebih efisien serta kerugian aliran dapat diminimalisir.

Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$N = \frac{2\pi .r_1}{t_1} \dots\dots\dots (57)$$

$$N = \frac{\pi .D_1}{t_1} \dots\dots\dots (58)$$

G. Poros

Poros merupakan salah satu bagian penting sebagai elemen mesin. Poros merupakan bagian stasioner yang umumnya berpenampang lingkaran dengan fungsi utama sebagai penerus tenaga dengan putarannya. Beban yang bekerja pada poros dapat berupa beban tarik, beban tekan atau lenturan maupun beban puntiran yang bekerja secara tunggal ataupun gabungan dari beberapa jenis beban (Budynas, 2006).

Dalam penggunaannya sebagai penerus daya air, poros turbin umumnya bekerja dengan gabungan antara beberapa beban. Sehingga dibutuhkan perancangan poros yang sesuai dengan beban yang bekerja pada poros tersebut. Beban puntir dan beban lentur merupakan jenis gabungan beban

yang paling sering bekerja untuk suatu poros turbin. sehingga dibutuhkan perhitungan torsi serta momen puntir yang bekerja pada suatu poros. Adapun persamaan untuk mengetahui torsi dan momen puntir yang bekerja adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{P \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n} \dots \dots \dots (59)$$

$$M = F \cdot L \dots \dots \dots (60)$$

Dimana :

T = Torsi poros (Nm)

P = Daya yang akan ditransmisikan (Watt)

n = Kecepatan putaran poros (rpm)

M = Momen Puntir (Nm)

F = Gaya yang bekerja (N)

L = Panjang lengan momen (m)

Pada proses perancangan poros dengan beban lentur dan beban puntir dapat dilakukan dengan memperhatikan beberapa hal sebagai berikut (Sularso, 1987):

1. Tegangan geser maksimum

Penggunaan tegangan geser maksimum diperlukan untuk mengetahui diameter minimal yang aman digunakan saat poros bekerja pada beban puntir. Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\sigma_b = \frac{32 M}{\pi d^3} \dots \dots \dots (61)$$

$$\tau = \frac{16 T}{\pi d^3} \dots \dots \dots (62)$$

Sehingga tegangan geser maksimal yang bekerja:

$$\tau_{maks} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_b^2 + \tau^2} \dots \dots \dots (63)$$

$$\tau_{maks} = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{32 M}{\pi d^3}\right)^2 + \left(\frac{16 T}{\pi d^3}\right)^2} \dots \dots \dots (64)$$

$$\tau_{maks} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + T^2} \dots \dots \dots (65)$$

Jika:

$$T_e = \sqrt{M^2 + T^2} \dots \dots \dots (66)$$

Maka:

$$\tau_{maks} = \frac{16}{\pi d^3} T_e \dots \dots \dots (67)$$

Sehingga diameter poros:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_e}{\pi \cdot \tau_{maks}}} \dots \dots \dots (68)$$

Dimana :

σ_b = Tegangan tarik (N/mm²)

τ = Tegangan geser (N/mm²)

τ_{maks} = Tegangan geser ijin maksimal (N/mm²)

T_e = Torsi ekuivalen (Nmm)

d = Diameter poros (mm)

2. Tegangan normal maksimum

Penggunaan tegangan normal maksimum diperlukan untuk mengetahui diameter minimal yang aman digunakan saat poros bekerja pada beban

lentur. Adapun persamaan yang digunakan untuk menentukan diameter poros adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{b maks} = \frac{1}{2} \sigma_b + \sqrt{\left(\frac{1}{2} \sigma_b\right)^2 + \tau^2} \dots\dots\dots (69)$$

$$\sigma_{b maks} = \frac{1}{2} \cdot \frac{32 M}{\pi d^3} + \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{32 M}{\pi d^3}\right)^2 + \left(\frac{16 T}{\pi d^3}\right)^2} \dots\dots (70)$$

$$\sigma_{b maks} = \frac{32}{\pi d^3} \left[\frac{1}{2} \cdot M + \sqrt{M^2 + T^2} \right] \dots\dots\dots (71)$$

$$\frac{\pi d^3}{32} \sigma_{b maks} = \frac{1}{2} \cdot M + \sqrt{M^2 + T^2} \dots\dots\dots (72)$$

Jika:

$$M_e = \frac{1}{2} \cdot M + \sqrt{M^2 + T^2} \dots\dots\dots (73)$$

Maka:

$$\frac{\pi d^3}{32} \sigma_{b maks} = M_e \dots\dots\dots (74)$$

Sehingga diameter poros:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_e}{\pi \cdot \sigma_{b maks}}} \dots\dots\dots (75)$$

Dimana :

$\sigma_{b maks}$ = Tegangan tarik ijin maksimal(N/mm²)

M_e = Momen ekuivalen (Nmm)

3. Poros dengan beban berfluktuasi

Pada poros dengan beban berfluktuasi, diperlukan faktor keamanan untuk mengatasi proses pembebanan yang berubah-ubah. Dalam hal ini, beban dapat berubah secara perlahan maupun secara tiba-tiba. Adapun

faktor keamanan yang digunakan untuk poros dengan beban berfluktuasi dapat berupa faktor momen (k_m) dan faktor torsi (k_t) yang besarnya ditentukan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4. Harga k_m dan k_t pada berbagai beban

Beban	k_m	k_t
1. Beban statis		
i. Beban perlahan	1	1
ii. Beban kejut	1,5 – 2,0	1,5 – 2,0
2. Beban berputar		
i. Beban perlahan	1,5	1,5
ii. Beban kejut rendah	1,5 – 2,0	1,5 – 2,0
iii. Beban kejut tinggi	2,0 – 3,0	1,5 – 3,0

Penggunaan harga k_m dan k_t pada poros dengan beban berfluktuasi diperlukan untuk menentukan torsi ekuivalen serta momen ekuivalen yang bekerja pada poros. Adapun persamaan torsi dan momen ekuivalen yang digunakan berubah menjadi sebagai berikut:

$$T_e = \sqrt{(k_m \cdot M)^2 + (k_t \cdot T)^2} \dots \dots \dots (76)$$

$$M_e = \frac{1}{2} \cdot (k_m \cdot M) + \sqrt{(k_m \cdot M)^2 + (k_t \cdot T)^2} \dots \dots \dots (77)$$

Dimana :

k_m = Faktor momen

k_t = Faktor torsi

H. Sistem Transmisi

Sistem transmisi merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk menyalurkan daya. Sistem transmisi yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga air berfungsi untuk menyalurkan daya putaran poros turbin untuk memutar poros generator. Sehingga daya putaran turbin dapat diubah menjadi energi listrik oleh generator. Terdapat beberapa jenis sistem transmisi yang digunakan pada PLTA skala kecil, yakni sebagai berikut:

1. Sistem transmisi langsung

Pada sistem transmisi langsung daya yang berasal dari poros turbin secara langsung ditransmisikan ke poros generator dengan sebuah kopling. Penggunaan kopling pada konstruksi jenis ini menjadi lebih kompak dengan perawatan yang mudah dan tingkat efisiensi yang tinggi (Sularso, 1987).

2. Sistem transmisi tak langsung

Pada sistem transmisi tak langsung digunakan sabuk untuk memindahkan daya dari dua poros sejajar. Sabuk berperan penting dalam menyerap beban kejut dan meredam pengaruh getaran yang terjadi. Pada umumnya sabuk yang digunakan adalah jenis *flat belt* dan V-belt. Jenis *flat belt* digunakan untuk sistem transmisi dengan daya yang besar. Sedangkan jenis V-belt digunakan pada tingkat daya yang lebih kecil dari 20 kW. Sistem transmisi memerlukan komponen pendukung seperti *pulley* dan bantalan. Pada sistem transmisi dengan *pulley* dan sabuk berlaku persamaan sebagai berikut:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1} \dots\dots\dots(78)$$

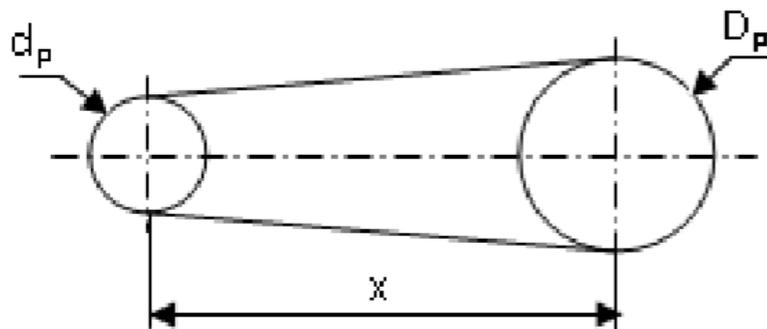
Dimana :

n_1 = Kecepatan puli 1

n_2 = Kecepatan puli 2

r_1 = Jari-jari puli 1

r_2 = Jari-jari puli 2



Gambar 24. Perbandingan diameter *pulley*

Dalam penggunaannya, terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam penggunaan sistem transmisi sabuk dan *pulley*. Adapun parameter yang perlu diperhitungkan dalam penggunaan sabuk dan *pulley* adalah sebagai berikut:

1. Jarak kedua poros *pulley*

Dalam menentukan jarak antara dua poros *pulley*, diperlukan jarak rencana (C_d) serta diameter *pulley* besar serta *pulley* kecil yang digunakan untuk selanjutnya digunakan persamaan sebagai berikut (Sularso, 1987):

$$L = \frac{1}{2}C_d + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{1}{4.C_d}(D_1 - D_2)^2 \dots\dots\dots(79)$$

$$b = 2L - 3,14 (D_1 + D_2) \dots\dots\dots (80)$$

$$x = \frac{b + \sqrt{b^2 + (D_1 - D_2)^2}}{8} \dots\dots\dots (81)$$

Dimana :

C_d = Jarak rencana (mm)

L = Jarak rencana ekuivalen (mm)

D_1 = Diameter *pulley* besar (mm)

D_2 = Diameter *pulley* kecil (mm)

b = Jarak maksimal (mm)

x = Jarak atara dua poros *pulley* (mm)

2. Kecepatan linear *pulley*

Kecepatan linear *pulley* dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$v = \frac{\pi . D_1 . n}{60} \dots\dots\dots (82)$$

Dimana :

v = Kecepatan linear turbin (m/s)

n = Kecepatan putaran turbin (rpm)

3. Berat sabuk

Berat sabuk yang digunakan dalam sistem transmisi dipengaruhi oleh luas penampang serta massa jenis bahan sabuk. Sabuk untuk *pulley* yang standar umumnya berbentuk trapesium sehigga luas penampang sabuk dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut (Khurmi, 1994):

$$a = \frac{(l_1 - l_2)}{2} t \dots\dots\dots (83)$$

Sehingga diperoleh persamaan berat sabuk:

$$w = \frac{a \cdot 100 \cdot \rho}{1000} \dots\dots\dots (84)$$

Dimana

a = Luas penampang sabuk

l_1 = Sisi panjang penampang sabuk

l_2 = Sisi pendek penampang sabuk

t = Tebal sabuk

w = Berat sabuk

ρ = Massa jenis bahan sabuk

4. Gaya sentrifugal

Gaya sentrifugal sabuk dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_c = \frac{w}{g} v^2 \dots\dots\dots (85)$$

5. Gaya maksimum

Gaya maksimum yang beerja pada sabuk dipegaruhi oleh tegangan tarik ijin bahan sabuk serta luas penampang sabuk dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_{max} = \sigma \cdot a \dots\dots\dots (86)$$

Dimana :

T_c = Gaya sentrifugal (N)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

T_{\max} = Gaya maksimum (N)

6. Gaya pada sisi kancang sabuk

Gaya pada sisi kancang sabuk dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_1 = T_{\max} - T_c \dots \dots \dots (87)$$

7. Sudut kontak *pulley*

Sudut kontak *pulley* dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sin \alpha = \frac{r_1 - r_2}{x} \dots \dots \dots (88)$$

$$\theta = (180 - 2\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} \dots \dots \dots (89)$$

Dimana :

α = Sudut penampang sabuk ($^{\circ}$)

r_1 = Jari jari *pulley* besar (mm)

r_2 = Jari – jari *pulley* kecil (mm)

θ = Sudut kontak *pulley* (rads)

8. Gaya pada sisi kendur sabuk

Gaya yang bekerja pada sisi kendur sabuk dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$2,3 \log \frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\theta} \dots \dots \dots (90)$$

Dimana :

T_1 = Gaya pada sisi kancang sabuk (N)

T_2 = Gaya pada sisi kendur sabuk (N)

μ = Koefisien gesek (0,98)

9. Torsi *output* dan *input*

Torsi yang bekerja pada sabuk dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_{out} = (T_1 - T_2) r_2 \dots \dots \dots (91)$$

$$T_{in} = (T_1 - T_2) r_1 \dots \dots \dots (92)$$

10. Daya output dan input

Daya yang dihasilkan dari sistem transmisi dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{out} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T_{out}}{60} \dots \dots \dots (93)$$

$$P_{in} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T_{in}}{60} \dots \dots \dots (94)$$

11. Efisiensi sistem transmisi

$$\eta_{transmisi} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots \dots \dots (95)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat Pelaksanaan

Perancangan dan pembuatan turbin sistem PLTMH dilaksanakan di Dusun Penyungkayan Desa Way Empulau Ulu Kecamatan Balik Bukit Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung.

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari alat dan bahan studi potensi serta alat dan bahan pembuatan turbin. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Selang plastik

Berfungsi untuk mengukur *head* sistem dengan metode manometer

2. Benang nilon

Berfungsi untuk menarik garis lurus terhadap ketinggian metode manometer.

3. *Stereofoam*

Berfungsi untuk mengukur kecepatan aliran air dengan metode apung.

4. *Stopwatch*

Berfungsi untuk mencatat waktu yang ditempuh *stereofoam* dalam mengukur kecepatan aliran dengan metode apung.

5. Alat Ukur (meteran)

Berfungsi untuk mengukur luas penampang aliran.

6. *Tachometer*

Berfungsi untuk mengukur putaran poros turbin dan generator.



Gambar 25. *Tachometer*

7. *Altimeter*

Berfungsi untuk mengukur ketinggian secara digital.



Gambar 26. Altimeter digital

8. *Current Meter*

Berfungsi untuk mengukur kecepatan aliran air.



Gambar 27. *Current Meter*

9. *Clamp Meter*

Berfungsi untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan generator.



Gambar 28. *Clamp Meter*

10. Mesin las listrik

Berfungsi untuk menyambungkan bagian-bagian turbin.

11. Gerinda listrik

Digunakan untuk memotong dan menghaluskan permukaan turbin.

12. Palu

Digunakan untuk membentuk bagian turbin sesuai dengan bentuk yang diinginkan.

13. Kunci momen dan lain-lain

Digunakan untuk memasang bagian bagian turbin dan lain –lain.

14. Pipa besi

Digunakan untuk membuat sudu-sudu turbin serta bagian inlet yang menyatu dengan pipa pesat.

15. Pelat besi dan besi siku

Digunakan sebagai bahan *runner*, dudukan turbin, inlet serta tutup turbin.

16. Poros

Digunakan untuk bahan *runner* dan transmisi sistem.

17. Roda gigi dan rantai

Berfungsi sebagai sistem transmisi.

18. *Belt* dan *pulley*

Berfungsi sebagai sistem transmisi.

19. Generator AC

Berfungsi sebagai mesin yang mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik.

20. *Bearing*

Berfungsi sebagai dudukan poros *runner* turbin.

21. Mur dan Baut

Digunakan sebagai sambungan bagian-bagian turbin.

22. Cat besi

Digunakan sebagai pelindung bagian-bagian turbin dari korosi.

C. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada penelitian ini dilakukan studi literatur yang menjadi acuan dalam menjalankan penelitian mengenai pemanfaatan potensi aliran sungai, PLTMH, turbin air dan klasifikasinya, debit air dan *head* serta daya yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTMH.

2. Studi potensi

Studi potensi dilakukan dengan mengumpulkan data potensi daya hidrolis aliran sungai berupa *head* dan debit aliran. Data *head* diperoleh dengan metode selang dan perhitungan *headloss*. Sedangkan data debit diperoleh dengan pengukuran kecepatan aliran serta pengukuran luas penampang sungai. Adapun metode yang digunakan untuk pengukuran kecepatan aliran adalah metode *current meter* dan benda apung. Sedangkan metode pengukuran luas penampang yang digunakan adalah metode pembagian segmen. Data *head* dan data debit yang digunakan merupakan data pengukuran secara langsung pada lokasi sungai Penyungkayan.

3. Perancangan sistem PLTMH

Dengan mengetahui potensi yang tersedia melalui analisis data hasil studi potensi, maka dilakukan perancangan dan pembuatan sistem PLTMH. Proses perancangan meliputi penentuan dimensi pipa pesat, pemilihan turbin, perancangan dimensi turbin, pemilihan sistem transmisi, serta pemilihan generator sesuai dengan potensi energi yang tersedia.

4. Pembuatan sistem PLTMH

Proses perancangan yang dilakukan selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam proses pembuatan sistem PLTMH. Adapun tahapan pembuatan sistem PLTMH adalah sebagai berikut:

a. Pemilihan dimensi pipa pesat

Pemilihan dimensi pipa pesat dilakukan dengan berdasarkan hasil perancangan yang telah dilakukan. Bahan pipa yang digunakan juga menjadi hal yang perlu dipertimbangkan. Pemilihan bahan dan dimensi pipa juga mempertimbangkan kondisi fisik lokasi.

b. Pembuatan turbin

Proses pembuatan turbin terdiri dari komponen-komponen utama turbin meliputi poros, *runner*, dudukan *runner*, nosel dan beberapa komponen lainnya. Dimensi setiap komponen yang dibuat berdasarkan proses perancangan yang dilakukan pada tahapan sebelumnya.

c. Pemilihan sistem transmisi

Sistem transmisi diperlukan untuk mentransmisikan daya putaran turbin menjadi daya listrik yang dihasilkan generator. Oleh karena itu, pemilihan sistem transmisi yang akan digunakan sangat penting untuk mengoptimalkan proses konversi energi aliran air menjadi energi listrik.

d. Pemilihan generator

Proses pemilihan generator dilakukan sesuai dengan potensi energi yang tersedia pada sistem. Hal tersebut diperlukan untuk mengoptimalkan proses konversi energi aliran air menjadi energi listrik. Pada umumnya generator yang digunakan untuk PLTMH berupa motor induksi sebagai generator (MISG). Adapun spesifikasi generator dapat disesuaikan dengan potensi energi serta biaya yang tersedia.

e. Perakitan komponen sistem PLTMH

Perakitan dilakukan dengan memasang komponen-komponen berupa pipa pesat, turbin, sistem transmisi serta generator pada lokasi yang telah ditentukan.

5. Pengujian sistem PLTMH

Pengujian sistem PLTMH dilakukan untuk memperoleh data pengujian dengan beberapa variasi pengujian seperti debit air serta sudut bukaan nosel turbin serta pengaruhnya terhadap daya listrik yang dihasilkan. Data yang pengujian yang diambil berupa variasi debit aliran serta arus dan tegangan listrik yang dihasilkan pada setiap variasi debit yang dilakukan.

6. Analisis data pengujian

Analisis data pengujian dilakukan untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh energi air yang tersedia, daya turbin, maupun daya generator. Sehingga dapat diketahui efisiensi sistem PLTMH.

D. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan adalah dengan melakukan survei ke lokasi sistem PLTMH untuk memperoleh data-data yang meliputi beberapa hal sebagai berikut:

1. Pengukuran *head*

Pengukuran *head* yang dilakukan adalah untuk memperoleh *head* kotor. Adapun metode yang digunakan adalah metode manometer dan altimeter. Dimana penggunaan selang plastik dan sifat air diperlukan untuk memperoleh beda ketinggian di lokasi PLTMH. Metode tersebut digunakan karena dinilai sebagai metode yang sederhana dan cukup akurat untuk memperoleh data *head* yang valid. Selain itu, digunakan juga altimeter sebagai alat pengukur ketinggian yang menampilkan hasil ketinggian terukur secara digital.

2. Pengukuran debit

Pengukuran debit yang dihasilkan oleh aliran sungai dilakukan untuk dapat merancang turbin yang sesuai. Pengukuran debit dilakukan ditempat yang memiliki luas penampang yang cukup rata. Dalam hal ini, pengukuran dilakukan pada saluran masuk air sebelum menuju bak

penenang. Dengan begitu luas penampang aliran dapat diketahui dengan mudah.

Pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan metode *current meter* dan metode benda apung. Metode *current meter* dilakukan dengan pengukuran menggunakan *current meter* pada kedalaman setengah. Hal tersebut dilakukan karena kedalaman aliran yang cukup dangkal. Sedangkan untuk metode benda apung digunakan *stereofom* dan benang nilon diperlukan. Dengan menaruh *stereofom* pada aliran air dan mencatat waktu yang dibutuhkan *stereofom* untuk mencapai jarak tertentu maka dapat diperoleh data kecepatan aliran. Kedua metode tersebut dilakukan untuk perbandingan dan kemudian digunakan yang dinilai paling valid sebagai data yang dapat diolah untuk proses perancangan. Adapun persamaan untuk menghitung debit air adalah sebagai berikut:

$$Q = V \times A$$

Dimana : Q : Debit Aliran m³/s

V : Kecepatan aliran, m/s

A : Luas penampang aliran m²

3. Pengukuran parameter daya

Pengukuran yang dimaksud merupakan pengukuran parameter yang mempengaruhi nilai daya sistem PLTMH. Variasi debit dan bukaan katup nosel dilakukan agar diketahui pengaruhnya terhadap parameter

kerja turbin. Adapun parameter yang diukur antara lain pengukuran debit aliran dan pengukuran kuat arus serta tegangan listrik dengan multimeter.

E. Pengolahan Data

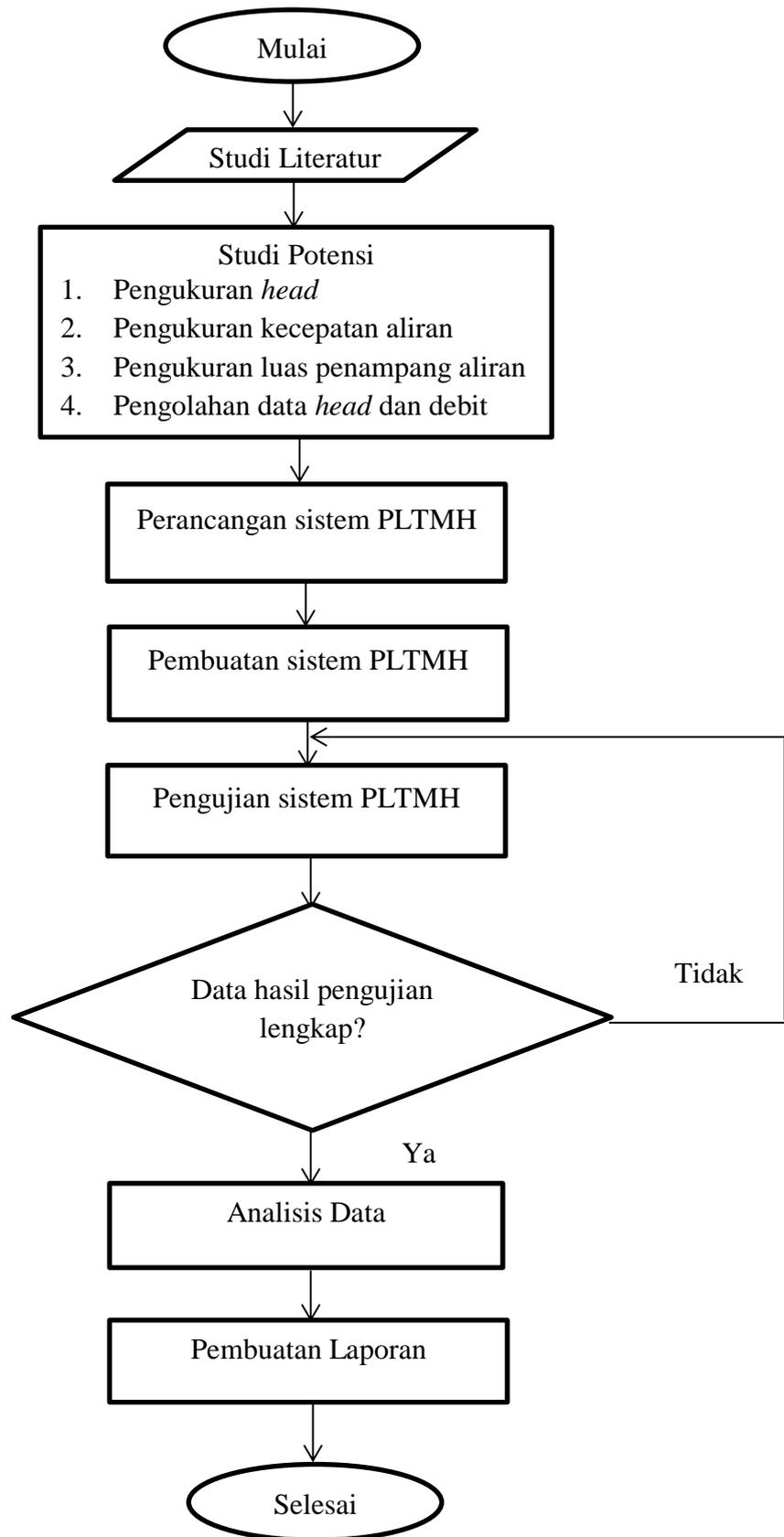
Setelah data pengujian diperoleh maka data tersebut kemudian diolah untuk mengetahui unjuk kerja sistem PLTMH. Pengolahan data dilakukan dengan proses penghitungan daya dan efisiensi. Adapun daya yang dihitung adalah daya turbin, daya hidrolis, dan daya generator. Hasil penghitungan daya selanjutnya digunakan untuk menghitung efisiensi, baik efisiensi turbin, generator maupun efisiensi sistem pembangkit.

F. Analisis Data

Perhitungan yang dilakukan berdasarkan data pengukuran yang diperoleh selanjutnya dilakukan analisis data. Analisis data dilakukan dengan membahas hasil perhitungan yang dilakukan dengan teori teori yang berhubungan dengan hasil perhitungan. Analisis data dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter yang mempengaruhi sistem kerja PLTMH

G. Diagram Alur Penelitian Tugas Akhir

Dalam pelaksanaan tugas akhir ini dilakukan sesuai dengan diagram alur yang telah dibuat. Adapun alur pelaksanaan yang dilakukan pada tugas akhir ini dapat digambarkan pada diagram sebagai berikut:



Gambar 29. Diagram alur Penelitian

V. PENUTUP

A. Simpulan

Adapun simpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil studi potensi yang telah dilakukan diperoleh *head* dan debit sungai Penyungkayan masing-masing sebesar 6,08 m dan 0,149 m³/s.
2. Berdasarkan hasil rancangan sistem pembangkit listrik tenaga air diperoleh dimensi pipa pesat berdiameter 0,2978 m dengan ketebalan 0,02363 m dan dimensi *runner* dengan diameter luar 0,3736 m, diameter dalam 0,2491 m, jarak antar sudu 0,065 m, ketebalan semburan nosel 0,03125, jari-jari kelengkungan sudu 0,0609 m dan jumlah sudu 18,04.
3. Pembuatan sistem pembangkit listrik tenaga air menghasilkan dimensi pipa pesat berdiameter 0,25 m dengan ketebalan 0,02 m dan dimensi *runner* dengan diameter luar 0,38 m, diameter dalam 0,32 m, jarak antar sudu 0,065 m, ketebalan semburan nosel 0,04, jari-jari kelengkungan sudu 0,0635 m dan jumlah sudu 20.
4. Efisiensi sistem terbesar yang dapat dihasilkan sistem pembangkit listrik yang telah diuji adalah sebesar 19,8%.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan data sekunder berupa data curah hujan dan data geografis lainnya yang berasal dari Dinas Kehutanan setempat dapat digunakan untuk menghasilkan data studi potensi yang lebih valid.
2. Pembangunan pembangkit listrik dengan kapasitas yang lebih besar dapat dilakukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat yang semakin bertambah.
3. Pembuatan sistem otomasi pada nosel dapat memudahkan proses pengaturan pada bukaan nosel sehingga pengujian sistem yang dilakukan menjadi lebih mudah.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A. dan Kuwahara S. 2004. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik*
I. Jakarta. Pradya Paramita.
- Audli, R., Sulistiyati, S. R., dan Trisanto A. 2014. *Rancang Bangun Alat Ukur
Portable 9 Titik Kecepatan Aliran Sungai (Open Channel) Nirkabel
Berbasis PC*. Bandar Lampung. Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro
Vol. 8, No. 2 Universitas Lampung
- Budynas, N. 2006. *Shigley's Mechanical Engineering Design, Eight Edition*.
USA. The McGraw-Hill Companies.
- Dandekar, M.M. dan Sharma, K.N. 1991. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta.
Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- Dietzel, F. 1988. *Turbin, Pompa Dan Kompresor*. Jakarta. Erlangga
- Firmansyah, R., Utomo, T., dan Purnomo, H. 2014. *Perancangan Pembangkit
Listrik Tenga Mikrohidro Gunung Sawur Unit 3 Lumajang*. Malang. Jurnal
Mahasiswa TEUB Vol. 1, No. 7 Universitas Brawijaya.
- Haimerl, L.A. 1960. *The Cross Flow Turbine*. Jerman Barat.

- JICA (Japan International Cooperation Agency). 2009. *Manuals and Guidelines for Micro-hydropower Development in Rural Electrification Volume I*. Department Of Energy Energy Utilization Management Bureau. Japan.
- Linsley, R.K. dan Franzini, J. B. 1986. *Teknik Sumberdaya Air*. Jakarta. Erlangga.
- Mafrudin. 2016. Studi Eksperimental Sudut Nosel Dan Sudut Sudu Terhadap Kinerja Turbin Crossflow Sebagai PLTMH di Desa Bumi Nabung Timur. Bandar Lampung. Universitas Lampung.
- Mockmore., C.A and Merryfield, F. 1984. “*The Banki Water Turbin*”, Oregon State College, Bulletin Series, NO.25.
- Nugraha, Y.S.H. dan Sallata, M.K. 2015 . *PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro)*. Yogyakarta. CV. Andi Offset.
- Paryatmo, W. 2007. *Turbin Air*. Yogyakarta. Graha Ilmu
- Patty, O.F. 1995. *Tenaga Air*. Jakarta. Erlangga
- Penche, C. dan Minas, I.D. 1998. *Layman’s Guide Book on How to Develop a Small Hydro Site*. Brussel. European Small Hydropower Association
- Pritchard, P.J. dan Leylegian, J.C. 2011. *Fox And McDonald’s Introduction To Fluid Mechanics*. USA. John Wiley & Sons, Inc.
- Pudjanarsa, A. dan Nursuhud, D. 2008. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta. CV Andi Offset.

Sularso dan Kiyokatsu, S. 1987. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta. Pradnya Paramitha.

Sularso, dan Tahara, H. 2000. *Pompa dan Kompresor*. Jakarta. Pradnya Paramitha.

Sulistiyono., Sugiri, A., dan Risano, Y.E. 2013. *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Sungai Cikawat Desa Talang Mulia Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Propinsi Lampung*. Bandar Lampung. Jurnal FEMA, Vol. 1, No 1. Universitas Lampung.

Yasser, R. 2014. *Optimization of the Performance of Micro Hydro-Turbines for Electricity Generation*. Hatfield, UK. University of Hertfordshire.