

**RANCANG BANGUN SALURAN PENGARAH UNTUK
MENINGKATKAN UNJUK KERJA MODEL SISTEM
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO
(PLTMH) MENGGUNAKAN TURBIN HELIK**

(Skripsi)

Oleh

RIZKI ZAKARIA MANALU



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2019

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SALURAN PENGARAH UNTUK MENINGKATKAN UNJUK KERJA MODEL SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) MENGGUNAKAN TURBIN HELIK

Oleh:

RIZKI ZAKARIA MANALU

Kebutuhan energi listrik di Indonesia saat ini semakin meningkat baik sektor rumah tangga, publik maupun industri. Oleh karena itu, hadirnya sumber – sumber energi yang terbarukan sangat dibutuhkan untuk menambah pasokan energi listrik bagi masyarakat. PLTMH merupakan salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber energi terbarukan yang bisa dimanfaatkan pada aliran sungai yang memiliki *head* rendah dan kecepatan aliran sungai yang kecil. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan rancang bangun model sistem PLTMH menggunakan turbin helik dengan memanfaatkan sumber aliran air yang ada di saluran irigasi Way Tebu, Desa Banjaragung Udik Kecamatan Pugung, Kabupaten Tanggamus. Pemanfaatan sumber energi air yang ada di saluran irigasi Way Tebu masih dapat ditingkatkan dengan menggunakan saluran pengarah aliran air sehingga energi mekanik dan energi listrik yang dihasilkan model sistem PLTMH meningkat juga.

Pada penelitian ini diberikan rancang bangun saluran pengarah untuk meningkatkan unjuk kerja model sistem PLTMH menggunakan turbin helik. Bentuk saluran yang dirancang untuk digunakan pada sistem pembangkit listrik ini adalah saluran yang dibentuk atas susunan nosel, saluran lurus, dan difuser. Penentuan dimensi dan ukuran saluran pengarah mengikuti dimensi saluran irigasi Way Tebu yang berbentuk trapesium dengan ukuran lebar permukaan dasar 2,30 m, lebar permukaan atas 3,85 m dan tinggi saluran 2,25 m. Turbin yang digunakan pada penelitian ini adalah turbin helik dengan tinggi turbin 1,2 m, diameter turbin 1 m dan jumlah sudu 3 buah. Bentuk profil sudu yang digunakan adalah NACA 0033 dengan kemiringan sudu 73° dan panjang *chord* 41,18 cm.

Hasil pengujian model sistem PLTMH menggunakan saluran pengarah diperoleh kenaikan kecepatan aliran terbesar yaitu pada kecepatan awal aliran 0,398 m/s naik menjadi 0,642 m/s (meningkat 61,31%), sedangkan pada kecepatan awal aliran 0,491 m/s dan 0,545 m/s secara berturut kecepatan aliran naik menjadi 0,734 m/s (meningkat 49,49%) dan 0,814 m/s (meningkat 49,36%). Hasil pengujian juga menunjukkan kenaikan daya listrik, di mana pada kecepatan aliran 0,398 m/s, daya listrik yang dihasilkan sebesar 13,7 Watt naik menjadi 65,52 Watt (meningkat 378%), pada kecepatan aliran 0,491 m/s daya listrik yang dihasilkan adalah 23,25 Watt naik menjadi 88,95 Watt (meningkat 282%) dan pada kecepatan aliran 0,545 m/s daya listrik yang dihasilkan sebesar 34,63 Watt naik menjadi 131,65 Watt (meningkat 280%).

Kata kunci : Energi Air, Pembangkit listrik, Saluran pengarah, Turbin helik.

ABSTRACT

DESIGN AND MANUFACTURING OF GUIDE CANAL TO IMPROVING THE PERFORMANCE OF THE MICRO HYDRO POWER PLANT (MHPP) SYSTEM MODEL USING HELICAL TURBINE

By:

RIZKI ZAKARIA MANALU

The need for electricity in Indonesia was currently increased in the household, public and industrial sectors. Therefore, the presence of renewable energy sources was needed to increase the supply of electricity for the community. MHPP was a power plant that utilizes a renewable energy source that could be utilized in river streams that had low heads and small river flow velocity. Previous research had been carried out a design of MHPP system model using helical turbine with utilizing water flow sources in the Way Tebu irrigation canal, Banjaragung Udik Village, Pugung District, Tanggamus Regency. Utilization of hydropower sources that exist in the Way Tebu irrigation canal can still be improved by using a guide canal of water flow so that the mechanical and electrical energy generated by the MHPP system model also increased.

This research was given the design of a guide canal to improve the performance of the MHPP system model using helical turbine. The shape of the canal designed to use in this power generation system was formed by the arrangement of a nozzle, straight canal, and diffuser. Determination of the dimensions guide canal followed the dimensions of the Way tebu irrigation canal was shaped a trapezoidal with the base surface width of 2,30 m, the upper surface width of 3,85 m and the canal height of 2,25 m. The turbine used in this research was the helical turbine with a height and diameter of the turbine of 1,2 m and 1 m respectively and the number of blades 3. The blade profile was used NACA 0033 with blade inclination of 73° and chord length of 41,18 cm.

The results of testing the MHPP system model used the guide canal were obtained the increase in flow velocity biggest was at the initial flow rate of 0,398 rose to 0,642 m/s (increased 61,31%,) while at the initial flow velocity of 0,491 m/s and 0,545 m/s the flow velocity rose to 0,734 m/s (increased 49,49%) and 0,814 m/s (increased 49,36%) respectively. The testing results also showed an increase in electric power, where at a flow velocity of 0.398 m/s the electric power generated was 13.7 Watt rose to 65.52 Watt (increased 378%), at a flow velocity of 0.491 m/s the electric power generated was 23, 25 Watt rose to 88.95 Watt (increased 282%) and at a flow velocity of 0.545 m/s the electric power generated was 34.63 Watt rose to 131.65 Watt (increased 280%).

Keywords: Hydropower, Power Plant, Guide Canal, Helical Turbine.

**RANCANG BANGUN SALURAN PENGARAH UNTUK
MENINGKATKAN UNJUK KERJA MODEL SISTEM
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO
(PLTMH) MENGGUNAKAN TURBIN HELIK**

Oleh

RIZKI ZAKARIA MANALU

(Skripsi)

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2019

Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN SALURAN PENGARAH
UNTUK MENINGKATKAN UNJUK KERJA
MODEL SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)
MENGUNAKAN TURBIN HELIK**

Nama Mahasiswa : **Rizki Zakaria Manalu**

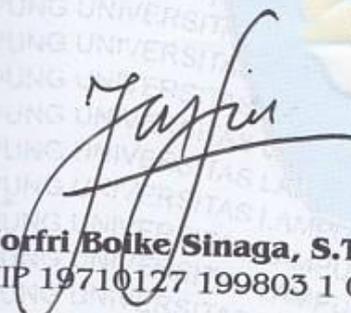
Nomor Pokok Mahasiswa : 1415021076

Jurusan : Teknik Mesin

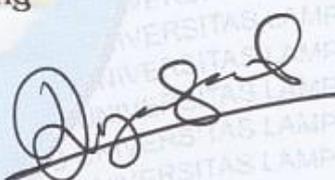
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

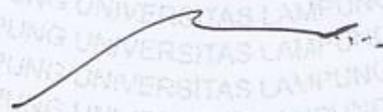

Jorfri Bolke Sinaga, S.T., M.T.

NIP 19710127 199803 1 004


Dyan Susila ES, S.T., M.Eng.

NIP 19801001 200812 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

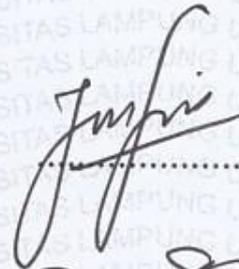

Ahmad Su'udi, S.T., M.T.

NIP 19740816 200012 1 001

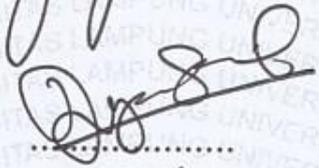
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

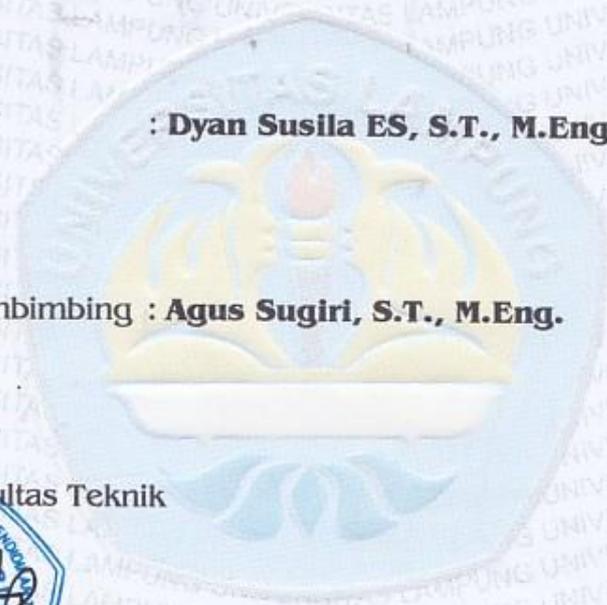
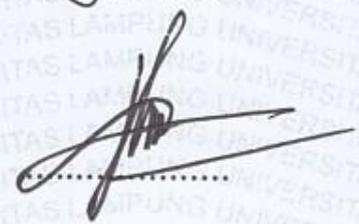
Ketua : Jorfri Bolke Sinaga, S.T., M.T.



Sekretaris : Dyan Susila ES, S.T., M.Eng.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Agus Sugiri, S.T., M.Eng.**



2. Dekan Fakultas Teknik



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

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Juli 2019

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



RIZKI ZAKARIA MANALU
NPM. 1415021076

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Purbatua, Kecamatan Tanotombangan Angkola, Kabupaten Tapanuli Selatan, Sumatera Utara pada tanggal 24 Mei 1995, Sebagai anak kedua dari enam bersaudara dari pasangan bapak Bisman Simamora dan ibu Megawati br Siregar. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri No. 102520 Purbatua pada tahun 2007, SMP di SMP Negeri 1 Sayurmatangi pada tahun 2010 dan SMA di SMA Negeri 1 Sayurmatangi pada tahun 2013. 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 Seksi Kerohanian Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin periode 2016-2017. Selain itu, penulis juga aktif dalam kepemudaan Gereja sebagai Ketua Pemuda/i GKPA Bandar Lampung periode 2015-2017. Pada skripsi ini penulis melakukan penelitian di bidang konversi energi dengan judul **“Rancang Bangun Saluran Pengarah Untuk Meningkatkan Unjuk Kerja Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Menggunakan Turbin helik”** dibawah bimbingan bapak Jofri Boike Sinaga, S.T., M.T. dan bapak Dyan Susila ES, S.T., M.Eng.

MOTTO

Sebab kamu memerlukan ketekunan, supaya sesudah kamu melakukan kehendak Allah, kamu memperoleh apa yang dijanjikan itu
(Ibrani 10 : 36)

Mengucap syukurlah dalam segala hal, sebab itulah yang dikehendaki Allah dalam Kristus Yesus bagi kamu.

(Tesalonika 5 : 18)

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan hikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan serta menyelesaikan skripsi dengan judul **“Rancang Bangun Saluran Pengarah untuk Meningkatkan Unjuk Kerja Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Helik”**. Penulis menyadari betapa besar bantuan dan dukungan dari semua pihak yang telah membantu dalam proses penelitian tugas akhir ini. Melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orangtuaku tercinta bapak Bisman Simamora.S.Pd.K dan ibu Dinargon Simanjuntak yang selalu memberikan kasih sayang, doa dan semangat motivasi bagi penulis.
2. Bapak Ahmad Su’udi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Bapak Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Pak M.Dian Susila ES,S.T.,M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini

5. Bapak Agus Sugiri, S.T., M.Eng selaku Dosen Penguji yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan banyak pengetahuan baik dalam proses perkuliahan maupun diluar proses perkuliahan.
7. Seluruh teknisi Lab Terpadu Teknik Mesin Univesitas Lampung, terutama Pak Sugiman selaku teknisi Lab Fluida.
8. Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung terkhusus Angkatan 2014 yang selalu bersama-sama dalam susah maupun senang dan saling memotivasi dalam perkuliahan.
9. Amang Lindung Simorangkir dan Inang Pdt.Noalina Sinaga selaku orang tua saya selama menempuh pendidikan di Lampung.
10. Rekan-rekan satu tim penelitian Okta, Ade, Taufiq, Reynaldo, Robinson, Akmal dan Jacky yang telah berbagi ilmu dan pengalaman bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
11. Teman-teman seperjuangan dan sepelayanan di Naposo Bulung GKPA Bandar Lampung.
12. Pihak-pihak lain yang telah banyak membantu penulis selama proses penelitian dan penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masi jauh dari sempurna, tetapi besar harapan penulis semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 2019

Penulis

RIZKI ZAKARIA MANALU
NPM . 1415021076

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xi
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan.....	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Pembangkit Listrik di Indonesia.....	5
B. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).....	6
C. Klasifikasi Turbin Air.....	8

1. Turbin impuls	8
2. Turbin Reaksi	12
D. Turbin Helik.....	15
E. Saluran Pengarah Aliran	20
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	30
A. Tempat Pelaksanaan.....	30
B. Alat dan Bahan.....	30
1. Alat pembuatan model sistem PLTMH menggunakan saluran pengarah	30
2. Alat ukur dan perlengkapan untuk pengujian.....	32
C. Tahapan Penelitian	33
1. Studi literatur	33
2. Tahap persiapan.....	33
3. Tahap perancangan.....	33
4. Tahap pembuatan model sistem PLTMH.....	35
5. Pengujian sistem PLTMH	36
6. Analisis data pengujian.....	40
D. Diagram Alir Pelaksanaan Tugas Akhir	41
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	42
A. Studi Potensi	42
B. Rancangan Model Sistem PLTMH Menggunakan Saluran Pengarah	44
C. Pembuatan Model Sistem PLTMH Menggunakan Saluran Pengarah	45
D. Pemasangan Model Sistem PLTMH Menggunakan Saluran Pengarah	46
E. Pengujian Model Sistem PLTMH Menggunakan Saluran Pengarah..	46

F. Pembahasan	52
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	62
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.....	7
Gambar 2 Instalasi turbin impuls	9
Gambar 3 Turbin pelton	10
Gambar 4 Sudu turbin turgo dan nosel	11
Gambar 5 Runner turbin crossflow	11
Gambar 6 Konstruksi turbin crossflow	12
Gambar 7 Instalasi turbin reaksi	13
Gambar 8 Runner turbin francis.....	14
Gambar 9 Runner turbin kaplan.....	14
Gambar 10 Bentuk sudu turbin darrieus dan turbin helik	15
Gambar 11 Gaya lift dan drag pada profil	16
Gambar 12 (a) Saluran yang diperbesar, (b) saluran yang diperkecil.....	20
Gambar 13 Saluran konvergen-divergen	21
Gambar 14 Saluran divergen-konvergen	21
Gambar 15 Perangkat saluran pengarah.....	22
Gambar 16 Tampilan rencana dan ketinggian volume atur yang digunakan untuk memodelkan saluran pengarah.....	23

Gambar 17 Kedalaman aliran sebagai fungsi energi spesifik (E), kurva sesuai dengan nilai konstan $Q^2 / 2gb^2$. Garis putus-putus sesuai dengan kasus di mana $Fr = 1$	25
Gambar 18 Model saluran (a) EIA6, (b) DIB3, (c) EIA3, (d) A0A1	28
Gambar 19 Hasil Pengujian peningkatan kecepatan air dengan menggunakan model saluran pengarah.....	29
Gambar 20 (a) Mesin las dan elektroda, (b) Mesin Gerinda	31
Gambar 21 (a) palu, (b) Mesin Bor	31
Gambar 22 (a) Mistar, siku, jangka sorong, busur,(b) meteran,(c) waterpas.....	31
Gambar 23 (a) plat 1,2 mm, (b) besi siku.	32
Gambar 24 (a) Clamp ampere, (b) tachometer, (c) current meter.....	32
Gambar 25 (a) Generator dan (b) rangkaian lampu, (c) Torsimeter	32
Gambar 26 Skema sistem PLTMH menggunakan turbin helik dan saluran pengarah yang akan digunakan pada saluran irigasi Way Tebu.	34
Gambar 27 Model turbin helik yang akan digunakan pada saluran irigasi Way Tebu.....	34
Gambar 28 Skema kedudukan turbin pada model sistem PLTMH yang akan digunakan pada saluran irigasi Way Tebu.	35
Gambar 29 Ukuran saluran pengarah.....	36
Gambar 30 Metode pengambilan data kecepatan air pada irigasi.....	38
Gambar 31 Metode pengambilan data kecepatan air pada aliran air menggunakan saluran pengarah.....	38
Gambar 32 Sistem pengereman sabuk	39
Gambar 33 Diagram alur penelitian tugas akhir	41

Gambar 34 Penampang saluran irigasi Way Tebu	42
Gambar 35 Dimensi saluran pengarah pada saluran irigasi Way Tebu	45
Gambar 36 Hasil rancangan model sistem PLTMH	45
Gambar 37 Pemasangan model sistem PLTMH menggunakan saluran pengarah di saluran irigasi Way Tebu.....	46
Gambar 38 Grafik pengaruh TSR terhadap torsi	55
Gambar 39 Grafik pengaruh TSR terhadap daya poros	56
Gambar 40 Grafik pengaruh TSR terhadap efisiensi turbin.....	56
Gambar 41 Grafik pengaruh TSR terhadap daya listrik.....	58
Gambar 42 Grafik pengaruh TSR terhadap efisiensi model PLTMH.....	59

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Hasil pengukuran kecepatan aliran saluran irigasi.....	43
Tabel 2 Kecepatan aliran air	44
Tabel 3 Dimensi dan spesifikasi turbin helik.....	44
Tabel 4 Hasil pengukuran kecepatan aliran menggunakan saluran pengarah.....	47
Tabel 5 Kecepatan aliran air menggunakan saluran pengarah.....	48
Tabel 6 Data hasil unjuk kerja turbin helik.....	49
Tabel 7 Data hasil perhitungan unjuk kerja model sistem PLTMH menggunakan saluran pengarah	51
Tabel 8 Kecepatan aliran air dengan flow simulation Solidwork	53
Tabel 9. Kenaikan kecepatan aliran air	54

DAFTAR NOTASI

W	= Kecepatan Resultan	(m/s)
λ	= <i>Tip Speed Ratio (TSR)</i>	
U	= Kecepatan air relatif	(m/s)
θ	= Sudut Putar	($^{\circ}$)
ω	= Kecepatan Sudut	(rad/s)
n_t	= Kecepatan putaran turbin	(rpm)
R	= Jari-jari turbin	(m)
A_t	= Luas penampang turbin	(m^3)
ρ	= Massa jenis air	(kg/m^3)
V	= Kecepatan aliran	(m/s)
F_D	= Gaya <i>Drag</i>	(N)
F_L	= Gaya <i>Lift</i>	(N)
C_d	= Koefisien <i>drag</i>	
C_l	= Koefisien <i>lift</i>	
α	= Sudut Serang	($^{\circ}$)
δ	= Sudut delta	($^{\circ}$)
P_t	= Daya Turbin	(watt)

P_h	= Daya Turbin	(watt)
P_g	= Daya Generator	(watt)
η_t	= Efisiensi turbin	(%)
η_{PLTMH}	= Efisiensi model sistem PLTMH	(%)
n_g	= Kecepatan putaran generator	(rpm)
T	= Torsi	(Nm)
I	= Arus listrik	(ampere)
V	= Tegangan listrik	(volt)
σ	= Soliditas	
C	= Panjang Chord	(cm)
ψ	= Sudut psi	($^{\circ}$)
n	= Jumlah sudu	
Q	= Debit Aliran	(m^3/s)

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di Indonesia saat ini kebutuhan energi listrik untuk kehidupan manusia semakin meningkat baik sektor rumah tangga, publik maupun industri. Dengan semakin meningkatnya kebutuhan manusia akan energi listrik, maka dibutuhkan juga peningkatan atau penambahan pembangkit listrik dalam skala besar maupun kecil dengan memanfaatkan potensi-potensi alam yang ada. Banyak sumber daya alam yang ada disekitar kita yang memiliki potensi untuk dibuat sebagai sumber pembangkit tenaga listrik seperti aliran sungai atau air terjun. Hal ini berpotensi untuk masyarakat sekitar menciptakan listrik dengan memanfaatkan aliran air melalui ukuran pembangkit listrik yang relatif lebih kecil daripada PLTA atau biasa disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

PLTMH merupakan salah satu energi terbarukan, pemanfaatan energi terbarukan menjadi energi listrik di Indonesia sendiri masih sangat minim, seperti pemanfaatan energi air kapasitas terpasang hanya 5% saja dari potensi tersedia 94.476 MW (Perusahaan Listrik Negara (PLN), 2018). Di Provinsi Lampung sendiri pemanfaatan potensi energi air ini dirasa amat perlu mengingat tingginya kebutuhan listrik, dimana saat ini terjadi defisit energi listrik. Defisit

ini terjadi karena tingkat pertumbuhan permintaan tenaga listrik yang cukup tinggi dimana di Provinsi Lampung sebesar 12% per tahun dibanding kemampuan pemerintah menyediakan pasokan listrik. Dari 81.626 desa di Indonesia saat ini 2.519 desa atau 293.532 rumah belum ada listrik, dan di Provinsi Lampung ada 113 desa yang belum ada listrik (Radar Lampung, 2018).

Pada saat ini pemanfaatan potensi energi air di Lampung banyak memanfaatkan pembangkit listrik tenaga air (PLTA), biaya pembuatan PLTA sendiri sangat mahal dan pada umumnya hanya dimanfaatkan pada aliran sungai dengan *head* yang tinggi dan kecepatan aliran yang besar. Alternatif lain yang bisa dimanfaatkan pada aliran sungai yang memiliki *head* rendah dan kecepatan aliran sungai yang kecil yaitu dengan memanfaatkan PLTMH. Pemanfaatan PLTMH dapat dilakukan disepanjang aliran sungai seperti pembangkit turbin crossflow, turbin pelton, turbin francis, turbin helik dan sebagainya. Salah satu turbin yang dapat digunakan pada *head* rendah dan kecepatan aliran sungai yang kecil adalah turbin helik.

Turbin helik mempunyai dua faktor yang mempengaruhi unjuk kerja turbin yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal meliputi geometri turbin yang berbentuk helik, dimensi dan ukuran turbin. Faktor eksternal meliputi massa jenis fluida dan kecepatan aliran fluida. Pada penelitian ini akan membahas tentang faktor eksternal turbin helik yaitu kecepatan aliran fluida.

Kecepatan aliran fluida dapat ditingkatkan dengan menggunakan saluran pengarah seperti pada pengujian yang dilakukan Ponta dan Jacovkis (2008) dimana hasil pengujian menunjukkan penggunaan saluran ini dapat

meningkatkan kecepatan aliran hingga 70% dibandingkan dengan tidak menggunakan saluran. Merujuk dari pengujian tersebut maka dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan saluran pengarah dan dikaji secara eksperimental untuk meningkatkan unjuk kerja model sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) menggunakan turbin helik yang dilakukan bersama dengan penelitian Sembiring (2019) di saluran irigasi Way Tebu, Desa Banjaragung Udik, Kecamatan Pugung, Kabupaten Tanggamus.

B. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah merancang saluran pengarah serta mengkaji secara eksperimental unjuk kerja menggunakan saluran pengarah pada model sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan menggunakan turbin helik.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah yang terdapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perancangan bentuk, dimensi dan ukuran saluran pengarah mengikuti dimensi saluran irigasi Way Tebu, Desa Banjaragung Udik, Kecamatan Pugung, Kabupaten Tanggamus.
2. Turbin yang diuji dalam model sistem PLTMH adalah turbin yang digunakan dalam penelitian Sembiring (2019)

D. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

I. Pendahuluan

Berisikan latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

II. Tinjauan Pustaka

Berisikan tentang teori dan konsep dasar PLTMH mulai dari definisi turbin, jenis-jenis turbin, konsep kerja turbin helik, jenis-jenis saluran pengarah dan faktor-faktor yang mempengaruhi unjuk kerja turbin helik.

III. Metodologi Penelitian

Berisikan tentang langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan perancangan dan pembuatan saluran pengarah untuk meningkatkan unjuk kerja model sistem pembangkit listrik tenaga mikrihidro (PLTMH), pengambilan data untuk analisis unjuk kerja turbin helik dengan menggunakan saluran pengarah.

IV. Hasil dan Pembahasan

Berisikan tentang hasil pengujian, hasil analisis dan pembahasan dari data-data yang diperoleh.

V. Simpulan dan Saran

Berisikan simpulan yang diperoleh dari hasil pengujian dan saran –saran yang diberikan oleh peneliti.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik di Indonesia

Pembangkit listrik adalah bagian dari alat industri yang dipakai untuk memproduksi dan membangkitkan tenaga listrik berbagai sumber tenaga seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa), Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dan lain-lain. Didalam pembangkit listrik terdapat komponen utama pembangkitan yaitu generator, turbin yang berfungsi mengkonversikan energi (potensi) mekanik menjadi energi listrik. Secara umum bagian-bagian dari pembangkit tenaga listrik terdiri dari :

1. Penggerak utama seperti turbin, mesin diesel dan lain-lain.
2. Komponen listrik seperti generator, transformator, saluran kabel, busbar, dan lain-lain.
3. Komponen Sipil seperti bendungan, saluran irigasi, gedung kontrol, pipa, dan lain-lain.

Diantara seluruh pembangkit listrik di Indonesia Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik yang memiliki biaya produksi, pembuatan dan perawatan paling murah dibanding dengan

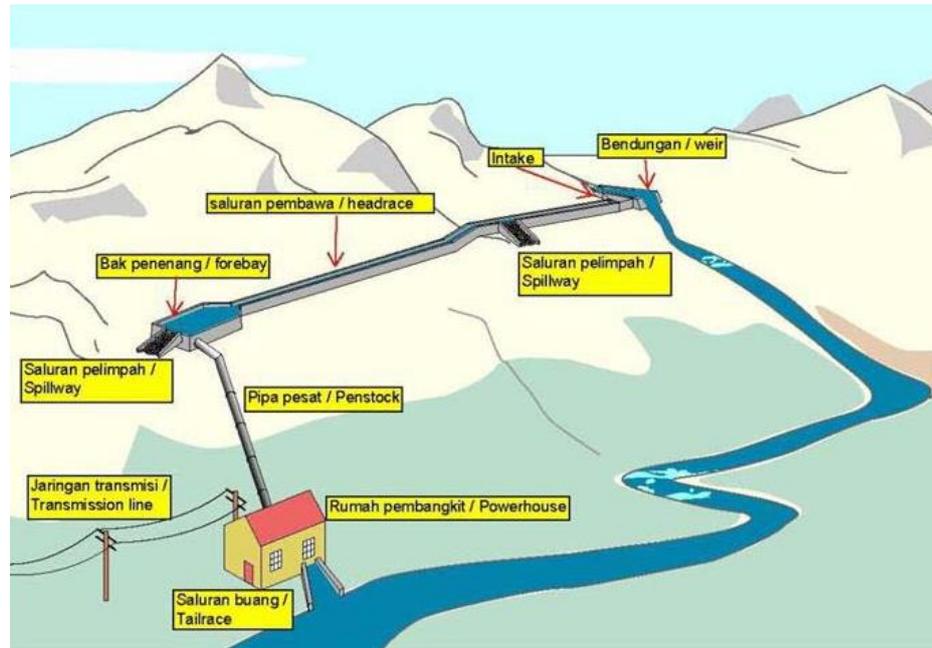
pembangkit-pembangkit listrik lainnya. Dengan memanfaatkan aliran irigasi, sungai, air terjun yang ada disekitar kita, kita bisa membuat pembangkit listrik sesuai dengan kebutuhan kita.

B. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggeraknya seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun alam. Istilah mikrohidro biasanya dipakai untuk pembangkit listrik yang menghasilkan *output* dibawah 500 KW, sementara minihidro *output* 500 KW-1 MW lebih besar dari itu biasa disebut dengan PLTA.

Potensi pengembangan PLTMH di Indonesia juga masih sangat terbuka banyak. Tahun 2017 dari seluruh 75.000 MW potensi kelistrikan air, 10 persen atau 7,500 MW bisa digunakan untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro dan saat ini yang dimanfaatkan baru sebesar 60 MW (Eka, 2016).

Secara teknis PLTMH memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin, dan generator. Pada prinsipnya alur kerja energi mikrohidro ini memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air yang ada pada aliran air di saluran irigasi, sungai, atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. Pembangunan PLTMH perlu diawali dengan pembangunan bendung untuk mengatur aliran air yang akan dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak PLTMH. Salah satu sistem dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.

Yang paling membanggakan saat ini adalah Indonesia telah mampu membuat turbin air sendiri dan juga sudah terdapat beberapa pabrik mikrohidro di beberapa wilayah di Indonesia. Beberapa keuntungan penggunaan PLTMH diantaranya adalah:

1. Biaya pembuatan relatif murah dan sumber energi yang dibutuhkan tersedia di alam karena berasal dari energi terbarukan .
2. Ramah lingkungan.
3. Dengan perawatan yang baik turbin dapat digunakan dengan waktu yang cukup lama
4. Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan.
5. Ada insentif dan bantuan fiskal kepada para pengembang yang tertera dalam Permen ESDM No. 04 Tahun 2012 Tentang Pembelian Harga Jual Energi Listrik ke PLN pada kapasitas tegangan rendah dan menengah.

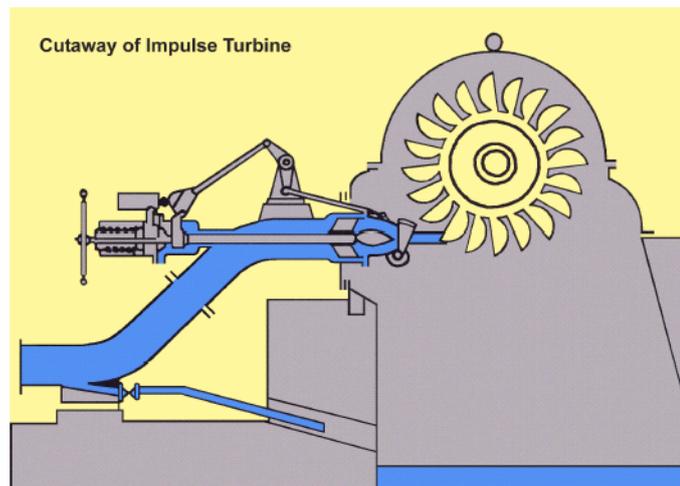
C. Klasifikasi Turbin Air

Turbin merupakan salah satu komponen utama pada PLTMH. Turbin berfungsi untuk mengubah energi kinetik pada air jatuh menjadi energi mekanik yang berupa putaran yang akan dihubungkan dengan generator menggunakan *gear* atau *belt* sehingga memutar generator dan menghasilkan listrik. Turbin memiliki beberapa jenis sesuai dengan efektifitasnya masing-masing. Pemilihan jenis turbin yang digunakan pada suatu pembangkit didasarkan pada beberapa hal antara lain ketinggian lokasi air, debit air yang dihasilkan, daya yang ingin dihasilkan dan besarnya putaran turbin yang ingin dihasilkan air yang menumbuk turbin yang akan melalui sudu. Sudu turbin terdiri dari dua yaitu sudu tetap yang berfungsi untuk mengarahkan air agar tepat menumbuk sudu gerak turbin. Besarnya putaran turbin yang dihasilkan harus disesuaikan dengan putaran yang dibutuhkan generator untuk menghasilkan daya listrik yang diinginkan. Putaran pada turbin dapat lebih kecil dibandingkan generator dengan menggunakan *gear* atau *belt* pada *shaft* turbin dan *shaft* generator (Himran, 2017). Turbin air dibedakan dalam dua golongan utama, yaitu dipandang dari segi perubahan momentum fluida kerjanya :

1. Turbin impuls

Turbin impuls disebut juga dengan turbin air tekanan sama karena tekanan air yang keluar dari nosel tekanannya sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya, sehingga energi tempat dan energi tekanan yang dimiliki oleh aliran air diubah semuanya menjadi energi kecepatan. Air yang memiliki kecepatan ini akan menghasilkan momentum (impuls) pada sudu turbin

sehingga menghasilkan putaran. Turbin impuls ialah turbin tekanan sama karena tekanan air ketika keluar nosel sama dengan tekanan atmosfer disekitarnya. Contoh instalasi turbin impuls dapat dilihat pada Gambar 2.

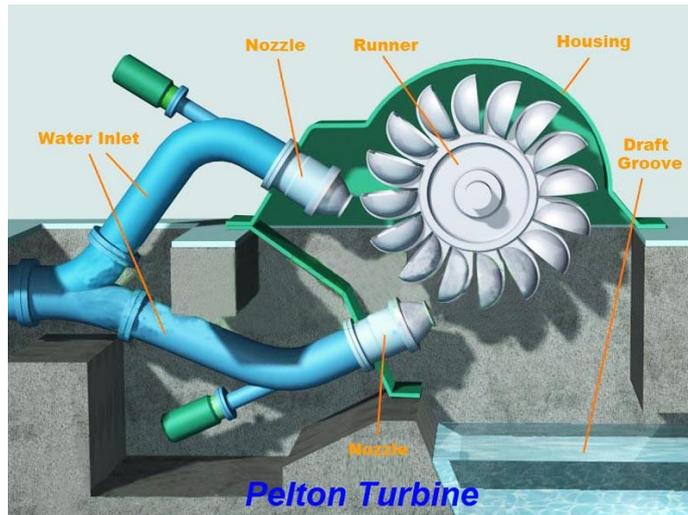


Gambar 2 Instalasi turbin impuls

Beberapa jenis turbin impuls yaitu :

a. Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan turbin impuls. Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nosel. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk *head* tinggi. Gambar dari turbin pelton dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Turbin pelton

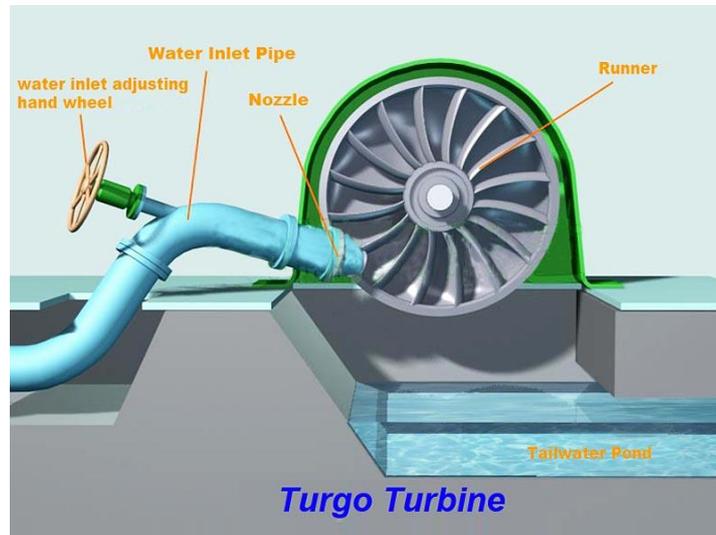
Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah–tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping. Untuk turbin dengan daya yang besar, sistem penyemprotan airnya dibagi lewat beberapa nosel.

Dengan demikian diameter pancaran air bisa diperkecil dan ember sudu lebih kecil. Turbin pelton untuk pembangkit skala besar membutuhkan *head* lebih kurang 150 m tetapi untuk skala *mikro head* 20 m sudah mencukupi.

b. Turbin Turgo

Turbin turgo dapat beroperasi pada *head* 30 s/d 300 m. Seperti turbin pelton turbin turgo merupakan turbin impuls, tetapi sudunya berbeda. Pancaran air dari nosel membentur sudu pada sudut 20° . Kecepatan putar turbin turgo lebih besar dari turbin pelton. Akibatnya

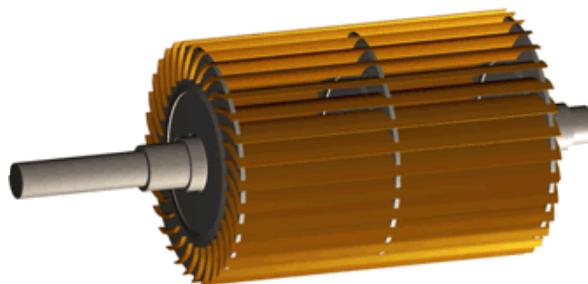
dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan. Bentuk dari sudu turbin turgo dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Sudu turbin turgo dan nosel

c. Turbin Crossflow

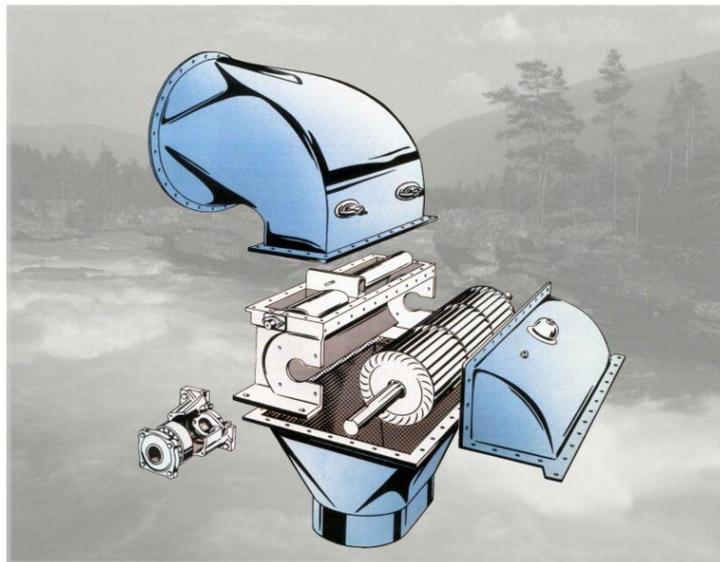
Salah satu jenis turbin impuls ini juga dikenal dengan nama Turbin Michell-Banki yang merupakan penemunya. Selain itu juga disebut Turbin Osberger yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin crossflow. Turbin crossflow dapat dioperasikan pada debit 20 liter/det hingga 10 m³/det dan *head* antara 1 s/d 200 m. Bentuk dari turbin crossflow dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Runner turbin crossflow

Turbin crossflow menggunakan nosel persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar *runner*. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. *Runner* turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.

Turbin crossflow baik sekali digunakan untuk pusat tenaga air yang kecil dengan daya kurang dari 750 kW. Pembuatan dan pemasangan konstruksi sangat sederhana, dan biaya pembuatan murah. Konstruksi secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 6.

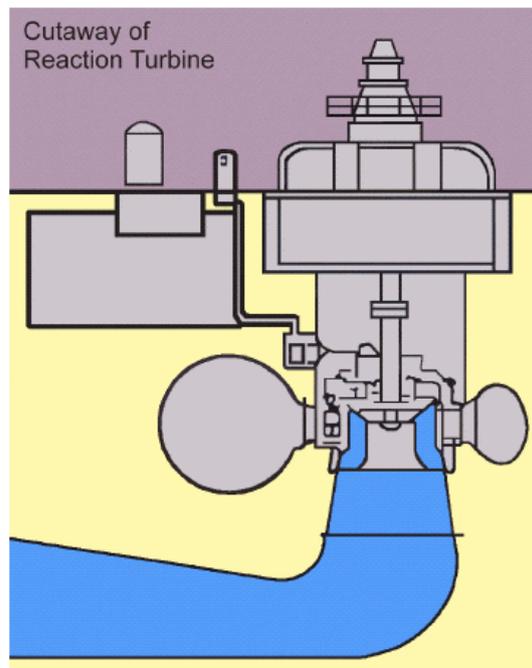


Gambar 6 Konstruksi turbin crossflow

2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi disebut juga dengan turbin tekanan lebih karena tekanan air sebelum masuk roda turbin lebih besar dari pada tekanan air saat keluar roda turbin. Secara umum dapat dikatakan bahwa aliran air yang masuk ke roda

turbin mempunyai energi penuh, kemudian energi ini dipakai sebagian untuk menggerakkan roda turbin dan sebagian lagi dipergunakan untuk mengeluarkan air ke saluran pembuangan. Jenis turbin reaksi yang sering digunakan antara lain, turbin francis, turbin propeler atau kaplan. Contoh bentuk instalasi turbin reaksi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Instalasi turbin reaksi

Ada beberapa jenis dari turbin reaksi yaitu :

a. Turbin Francis

Turbin francis merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin francis dapat merupakan suatu sudu pengarah yang

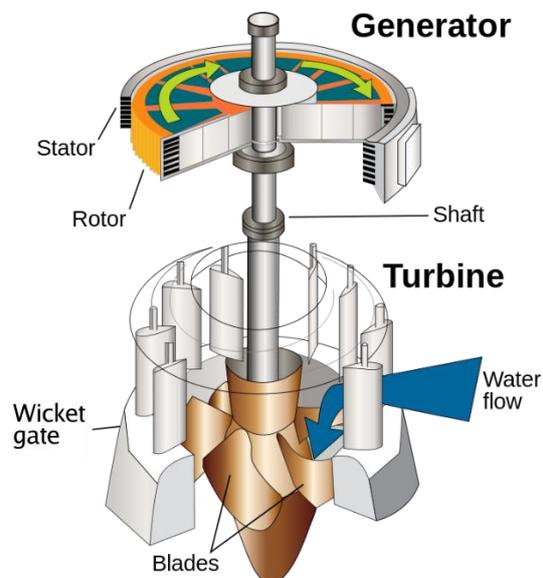
tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Bentuk *runner* dari turbin francis dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Runner turbin francis

b. Turbin Kaplan & Propeller

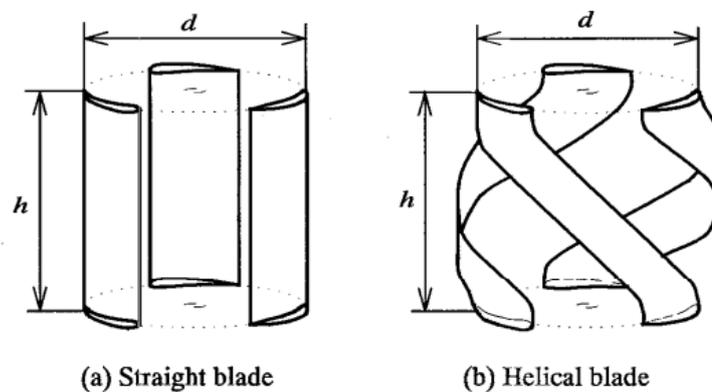
Turbin kaplan dan propeller merupakan turbin rekasi aliran aksial. Turbin ini tersusun dari propeller seperti pada perahu. Propeller tersebut biasanya mempunyai tiga hingga enam sudu. Bentuk turbin kaplan dan propeller dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Runner turbin kaplan

D. Turbin Helik

Turbin helik ini ditemukan pertama kali oleh Alexander Gorlov pada tahun 1990 yang merupakan pengembangan dari turbin darrieus. Turbin darrieus merupakan turbin yang menggunakan aliran dengan *head* yang sangat rendah dengan bentuk sudu yang berbentuk *straight*. Turbin darrieus sangat baik dalam menghasilkan daya tetapi menimbulkan vibrasi pada *tip speed ratio* yang tinggi. Untuk mengurangi vibrasi yang tinggi maka mulai dikembangkanlah turbin helik oleh Gorlov. Turbin helik merupakan penyempurnaan dari turbin darrieus dimana turbin helik lebih baik pada putaran awalnya (Shiono, 2002). Bentuk dari turbin darrieus dan turbin helik dapat dilihat pada Gambar 10.



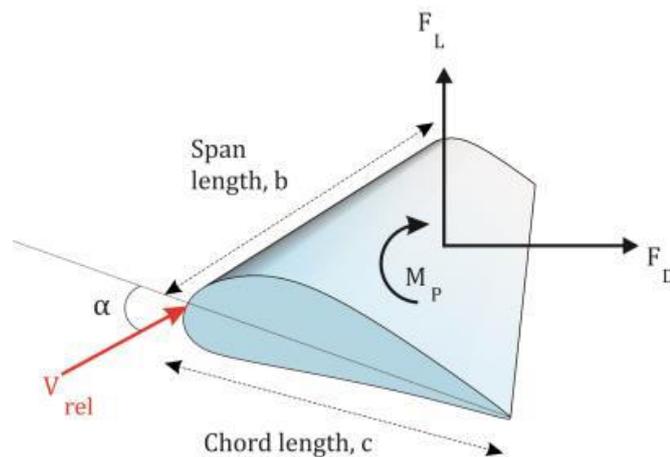
Gambar 10 Bentuk sudu turbin darrieus dan turbin helik

Adapun beberapa keunggulan dari turbin helik yaitu (Gorlov, 2008) :

1. Dapat beroperasi pada gelombang samudera, air pasang surut dan arus sungai.
2. Dapat berputar pada kecepatan air 0.6 m/s.
3. Berputar tanpa terjadi fluktuasi.

4. Berputar hanya pada satu arah, meskipun arus yang datang berubah-ubah arahnya, maka sangat ideal untuk arus pasang surut.
5. Turbin helik dapat diposisikan sebagai turbin vertikal dan horizontal. Untuk posisi horizontal dapat digunakan pada air dangkal (sungai), dengan kedalaman air 1 meter.

Tubin helik mempunyai dua faktor yang mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh turbin, faktor eksternal antara lain massa jenis fluida (ρ) kg/m^3 , kecepatan fluida (V) m/s dan faktor internal yang merupakan geometri turbin yang berbentuk helik, profil sudu dan dimensi turbin yang harus menghasilkan gaya *lift* yang besar dan gaya *drag* yang rendah sehingga akan menghasilkan torsi yang besar. Gaya *lift* dan *drag* dapat dilihat pada Gambar 11 (Gorlov, 1998) .



Gambar 11 Gaya *lift* dan *drag* pada profil

Untuk menghitung torsi kita perlu mengetahui berapa sudut serang pada turbin helik. Sudut serang merupakan sudut yang terbentuk dari kecepatan resultan (W) dan kecepatan keliling sudu (U) dimana kecepatan resultan didapatkan dengan persamaan trigonometri. Dengan mempertimbangkan bentuk geometris, vektor

kecepatan resultan (W) dan sudut serang (α) dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$W = \sqrt{(U \cdot \sin \theta)^2 + (U \cdot \cos \theta + \lambda \cdot U)^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\sin \theta}{\cos \theta + \lambda} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

W = Kecepatan resultan (m/s)

U = Kecepatan air relatif (m/s)

λ = *Tip speed ratio* (TSR)

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \dots\dots\dots(3)$$

R = Jari-jari turbin (m)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

$$\omega = \frac{2\pi n_t}{60} \dots\dots\dots(4)$$

n_t = Putaran turbin (rpm)

Tip speed ratio adalah rasio kecepatan sudu terhadap kecepatan fluida yang melalui turbin. Gorlov mengemukakan bahwa nilai TSR yang terbaik digunakan untuk turbin helik adalah sekitar 2,0 – 2,2 (Gorlov, 1998).

Setelah menemukan besar nilai kecepatan resultan, dilanjutkan dengan menghitung besar gaya *drag* dan gaya *lift* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Besar gaya *drag* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_D = C_D \cdot \rho \cdot (A \cos \alpha) \cdot \frac{W^2}{2} \dots\dots\dots(5)$$

Setelah itu menghitung gaya *lift*, dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_L = C_L \cdot \rho \cdot (A \cos \alpha) \cdot \frac{W^2}{2} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

$F_D =$ Gaya *Drag* (D)

$F_L =$ Gaya *Lift* (L)

$C_D =$ Koefisien gaya *Drag*

$C_L =$ Koefisien gaya *Lift*

$\rho =$ Massa jenis fluida (Kg/m^3)

$A =$ Luas penampang sudu turbin (m^2)

$\alpha =$ Sudut Serang (*attack of angle*)

Dengan memproyeksikan gaya *drag* dan gaya *lift* sebagai gaya yang tegak lurus terhadap lengan (jari-jari) turbin (dapat dilihat pada Gambar 11), maka nilai torsi (T) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T = \sum F \cdot R = (F_L \cdot \cos \delta \cdot \sin \alpha - F_D \cos \delta \cdot \cos \alpha) \cdot R \dots \dots \dots (7)$$

Dimana :

T = Torsi (Nm)

F = Gaya tegak lurus terhadap lengan (N)

R = Jari-jari turbin (m).

Selanjutnya dari persamaan 7 dapat diketahui daya yang dihasilkan turbin (*output*) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_t = T \cdot \omega \text{ atau } P_t = 0,105 \cdot T \cdot n_t \dots \dots \dots (8)$$

Dimana :

$\omega =$ Kecepatan sudut (rad/s)

T = Torsi (Nm)

n_t = Putaran turbin (rpm)

Untuk mencari besarnya daya hidro yang dihasilkan turbin helik bisa dicari dengan persamaan berikut ini :

$$P_h = \frac{1}{2} \rho \cdot A_t \cdot V^3 \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

P_h = Daya masukan/hidro (Watt)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

A_t = Luas penampang turbin (m^2)

V = Kecepatan air (m/s)

Daya listrik yang dihasilkan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$P_g = V_g \cdot I_g \dots\dots\dots(10)$$

Dimana V_g adalah tegangan listrik, dan I_g adalah kuat arus yang dihasilkan generator.

Setelah daya hidro dan daya turbin diketahui maka efisiensi turbin (η) dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{P_t}{P_h} \times 100\% \dots\dots\dots(28)$$

Atau apabila ditinjau dari daya generator (P_g) terhadap daya air (P_h) yang dihasilkan maka akan diperoleh efisiensi model PLTMH dengan persamaan berikut :

$$\eta_{\text{PLTMH}} = \frac{P_g}{P_h} \times 100\% \dots\dots\dots(29)$$

E. Saluran Pengarah Aliran

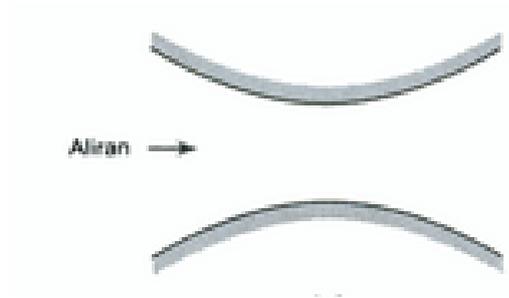
Saluran pada umumnya dapat digolongkan menjadi 2 bagian yaitu saluran alam (natural) dan saluran buatan. Saluran alam adalah saluran yang dibentuk berdasarkan geometris alam itu sendiri dan memiliki dimensi yang tidak beraturan. Saluran buatan dibentuk oleh manusia seperti saluran pelayaran, saluran pengarah pembangkit listrik, saluran irigasi dan sebagainya. Saluran irigasi biasanya digunakan untuk mengirim atau mengarahkan air dari suatu tempat ketempat lain. Saluran pembangkit listrik biasanya digunakan sebagai media pengarah aliran untuk mempercepat atau memperlambat aliran air untuk menggerakkan turbin (Rosalina, 1992).

Untuk mempercepat atau memperlambat aliran air pada saluran dapat dilakukan dengan memperkecil dan memperbesar luas penampang saluran. Dengan kata lain peningkatan luas yang berkaitan dengan aliran air melalui saluran yang membesar seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 12(a) akan disertai dengan pengurangan kecepatan, aliran air yang melalui saluran yang mengecil seperti yang ditunjukkan pada gambar 12(b) akan mengakibatkan peningkatan kecepatan.



Gambar 12 (a) Saluran yang diperbesar, (b) saluran yang diperkecil

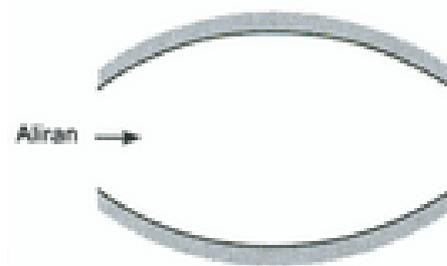
Saluran lain yang berfungsi untuk mempercepat atau memperlambat aliran air yaitu saluran yang konvergen-divergen. Saluran konvergen-divergen adalah saluran air dengan memperkecil luas penampang pada bagian tengah saluran, bentuk saluran konvergen-divergen dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Saluran konvergen-divergen

Pada saluran konvergen-divergen kecepatan fluida akan meningkat pada bagian saluran yang mengecil dan pada saluran yang membesar akan memperlambat saluran. Saluran konvergen-divergen ini juga sering disebut suatu nosel konvergen-divergen, tetapi saluran ini juga dapat berfungsi sebagai difuser.

Saluran lain yang prinsip kerjanya sama dengan saluran konvergen-divergen adalah saluran divergen-konvergen, bentuk saluran konvergen-divergen dapat dilihat pada Gambar 14.



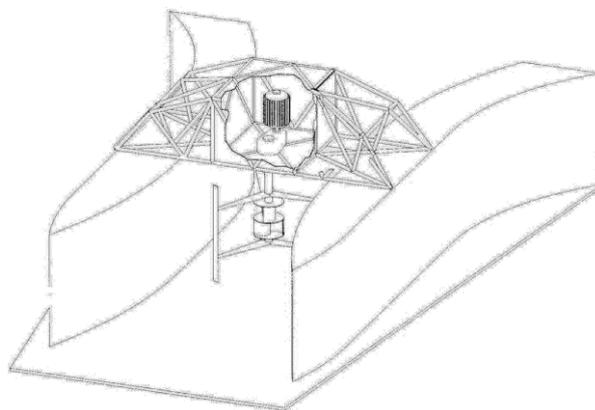
Gambar 14 Saluran divergen-konvergen

Saluran divergen-konvergen adalah saluran air dengan memperbesar luas penampang pada bagian tengah saluran. Saluran ini adalah kebalikan dari saluran konvergen-divergen dimana pada bagian saluran yang membesar kecepatan air akan berkurang tetapi pada bagian saluran air yang mengecil kecepatan air akan meningkat (Munson, 2005).

Ponta dan Dutt (2000) dalam penelitiannya juga merancang dan membuat saluran pengarah aliran air dengan menggabungkan perangkat saluran. Saluran yang dibentuk terdiri atas susunan nosel, saluran datar, dan difuser.

Ada 3 bagian penting dalam perangkat saluran pengarah pada Gambar 15 yaitu:

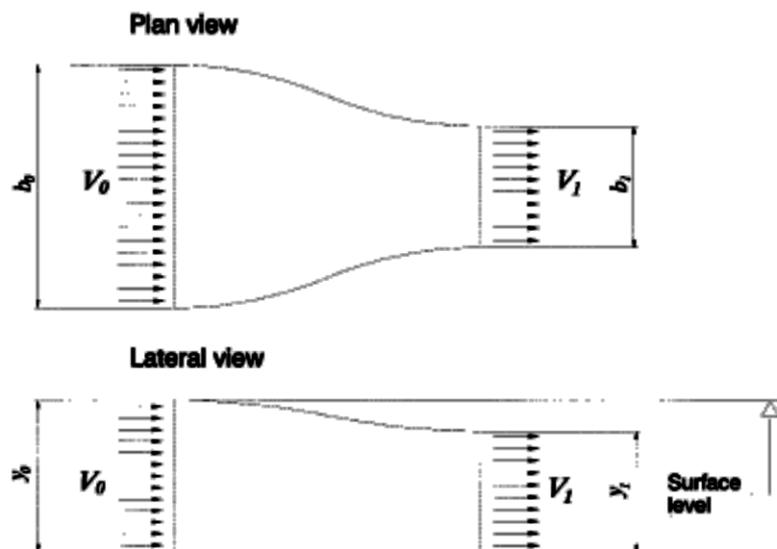
1. Nosel yang mempercepat aliran sehingga kecepatan di lingkungan rotor lebih tinggi dari kecepatan saat ini.
2. Saluran lurus, yang berisi rotor dan mempertahankan (sedapat mungkin) aliran keseragaman di zona rotor.
3. Difuser, yang menyesuaikan aliran ke kondisi kecepatan awal setelah melewati zona rotor.



Gambar 15 Perangkat saluran pengarah

Penelitian yang dilakukan Ponta dan Dutt (2000) dikembangkan dengan model teoritis aliran internal dengan menerapkan persamaan integral untuk konservasi massa dan energi, ditambah dengan sejumlah asumsi yang kemudian dikonfirmasi secara eksperimental. Dengan mempertimbangkan volume kontrol yang berisi aliran di nosel (dapat dilihat pada Gambar 16) dan dengan meninjau volume atur aliran di saluran pengarah dan menggunakan asumsi sebagai berikut :

1. Aliran bersifat laminar, kompresibel, stasioner (*steady*), adiabatik, isothermal dan satu dimensi (kecepatan seragam disetiap bagian).
2. Distribusi tekanan hidrostatik.
3. Tidak ada pertukaran kerja mekanik dengan medium disekitarnya.



Gambar 16 Tampilan rencana dan ketinggian volume atur yang digunakan untuk memodelkan saluran pengarah.

Menerapkan persamaan integral untuk konversi massa (Fox dan Mc. Donald, 1985) sebagai berikut :

$$\int_{\vartheta} \frac{\partial \rho}{\partial t} d\vartheta + \int_S \rho (V - n) ds = 0 \dots \dots \dots (12)$$

Dimana integralnya sesuai dengan volume atur dan permukaan batasnya masing-masing (dapat dilihat pada Gambar 16). Dengan asumsi yang digunakan, persamaan disederhanakan menjadi :

$$V_0 y_0 b_0 = V_1 y_1 b_1 = V y b = Q \dots \dots \dots (13)$$

di mana: V_0, y_0, b_0 adalah kecepatan, kedalaman dan lebar aliran pada saluran masuk nosel, masing-masing. V_1, y_1, b_1 adalah kecepatan, kedalaman dan lebar aliran di *outlet* nosel, masing-masing. V, y, b adalah kecepatan, kedalaman dan lebar aliran pada setiap bagian masing-masing dan Q adalah laju aliran volumetrik. Dengan menerapkan persamaan integral untuk konservasi energi, persamaan menjadi :

$$Q_c - W = \int_{\vartheta} \frac{\partial}{\partial t} \rho \left(\frac{V^2}{2} + u + gy \right) d\vartheta + \int_S \rho \left(\frac{V^2}{2} + u + gy + \frac{p}{\rho} \right) (V - n) ds \dots \dots \dots (14)$$

Dimana dengan menerapkan asumsi panas dan transfer kerja mekanik (Q_c dan W) akan hilang. Mempertimbangkan distribusi tekanan hidrostatis, pada bagian masuk dan keluar volume atur persamaannya adalah :

$$P_0 = \rho g (y_0 - y); P_1 = \rho g (y_1 - y) \dots \dots \dots (15)$$

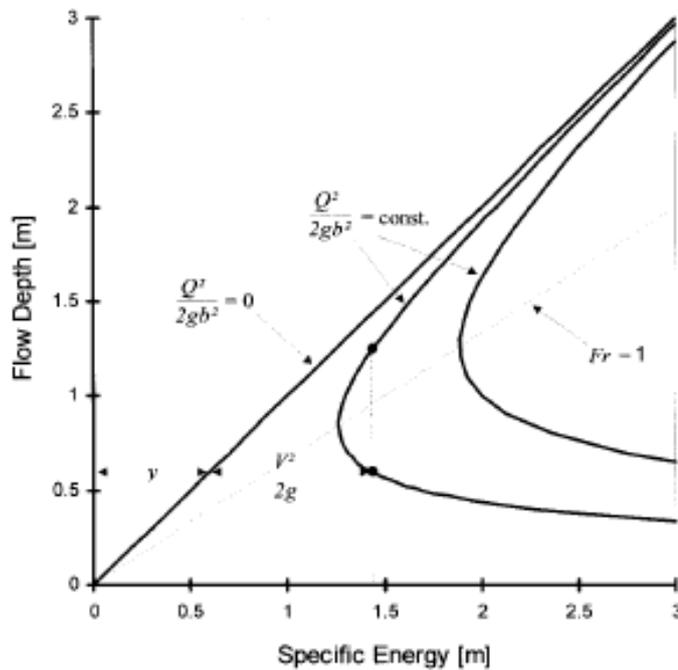
Dengan mensubstitusikan kedalam persamaan 14, mengintegrasikan dan menyederhanakan, sehingga dihasilkan :

$$\frac{V_0^2}{2g} + y_0 = \frac{V_1^2}{2g} + y_1 \dots \dots \dots (16)$$

Teori saluran terbuka mendefinisikan parameter yang disebut energi spesifik ‘ $E = (V^2 / 2g) + y$. Mengekspresikan E dalam aliran volumetrik.

$$E = \frac{Q^2}{2gb^2y^2} + y \dots \dots \dots (17)$$

Gambar 17 menunjukkan kedalaman aliran sebagai fungsi energi spesifik; kurva sesuai dengan nilai konstan $Q^2 / 2gb^2$. Untuk nilai tertentu dari energi spesifik, setiap kurva menyediakan dua kemungkinan nilai kedalaman yang memenuhi persamaan 17.



Gambar 17 Kedalaman aliran sebagai fungsi energi spesifik (E), kurva sesuai dengan nilai konstan $Q^2 / 2gb^2$. Garis putus-putus sesuai dengan kasus di mana $Fr = 1$.

Ketika $Q^2 / 2gb^2$ meningkat, kurva bergeser ke arah kanan. Untuk setiap nilai E, jarak horizontal dari sumbu koordinat ke garis $Q = 0$ (garis 45°) mewakili nilai kedalaman y, maka jarak dari garis ini ke kurva adalah nilai energi kinetik spesifik $V^2 / 2g$. Untuk setiap kurva terdapat nilai kedalaman yang sesuai dengan minimum energi spesifik yang dapat ditentukan dengan membedakan dan menyamakan dengan nol:

$$\frac{dE}{dy} = -\frac{Q^2}{gb^2y^3} + 1 = 0 \dots\dots\dots(18)$$

$$y_c = \left(\frac{Q^2}{gb^2}\right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(19)$$

Mensubstitusikan kedalam persamaan 16, maka dihasilkan :

$$E_{min} = E_c = \frac{1}{2}y + y = \frac{3}{2}y \dots\dots\dots(20)$$

Masukkan kepersamaan 13, jadi persamaan :

$$V_c^2 = \frac{Q^2}{b^2y_c^2} = gy_c \dots\dots\dots(21)$$

Jadi dapat dilihat nilai minimum energi spesifik sesuai dengan angka Froude yang sama dengan 1, yaitu kondisi aliran kritis. Sifat dari aliran di kedua cabang kurva (di atas dan di bawah kedalaman kritis) dapat dipelajari jika kita mengamati dalam persamaan untuk bilangan Froude, hasil persamaan 12 dan kondisi konservasi massa $Q = V_c y_c b = V y b$ maka persamaan bilangan Froude adalah sebagai berikut :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}} = \frac{V_c y_c}{y \sqrt{gy}} = \frac{\sqrt{gy_c y_c}}{y \sqrt{gy}} = \left(\frac{y_c}{y}\right)^{3/2} \dots\dots\dots(22)$$

Di cabang bagian atas $y > y_c$, sehingga $Fr < 1$: nilai subkritis. Di cabang bawah $y < y_c$, $Fr > 1$: nilai superkritis. Kedalaman dan lebar bagian masuk saluran pengarah (b_0 dan y_0) dicirikan oleh geometri mesin. Dengan demikian, untuk nilai arus sungai tertentu kecepatan V_0 , laju alir volumetrik Q ditentukan. Kemudian dari Persamaan 17 kita melihat bahwa energi spesifik pada setiap titik nosel hanya fungsi kedalaman dan lebar pada titik itu. Dengan kata lain dari Persamaan 17 dimiliki nilai E tetap konstan sepanjang saluran pengarah. Kemudian mendiferensialkan persamaan 16 sehubungan dengan koordinat x longitudinal, maka dihasilkan :

$$\frac{dE}{dx} = - \frac{Q^2}{g(b(y(x)))^3} \left(b(x) \frac{dy(x)}{dx} + y(x) \frac{db(x)}{dx} \right) + \frac{db(x)}{dx} = 0 \dots\dots\dots(23)$$

Dengan melakukan penyederhanaan :

$$\frac{dy}{dx} \left(1 - \frac{Q^2}{gb^2y^3} \right) = \frac{db}{dx} \left(\frac{Q^2}{gb^3y^2} \right) \dots\dots\dots(24)$$

Mengingat bahwa $(Q^2 / gb^2y^3) = (V^2/gy) = Fr^2$, dan substitusikan kedalam persamaan 24, maka dihasilkan:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{db}{dx} \left(\frac{y}{b} \right) \frac{Fr^2}{(1-Fr^2)} \dots\dots\dots(25)$$

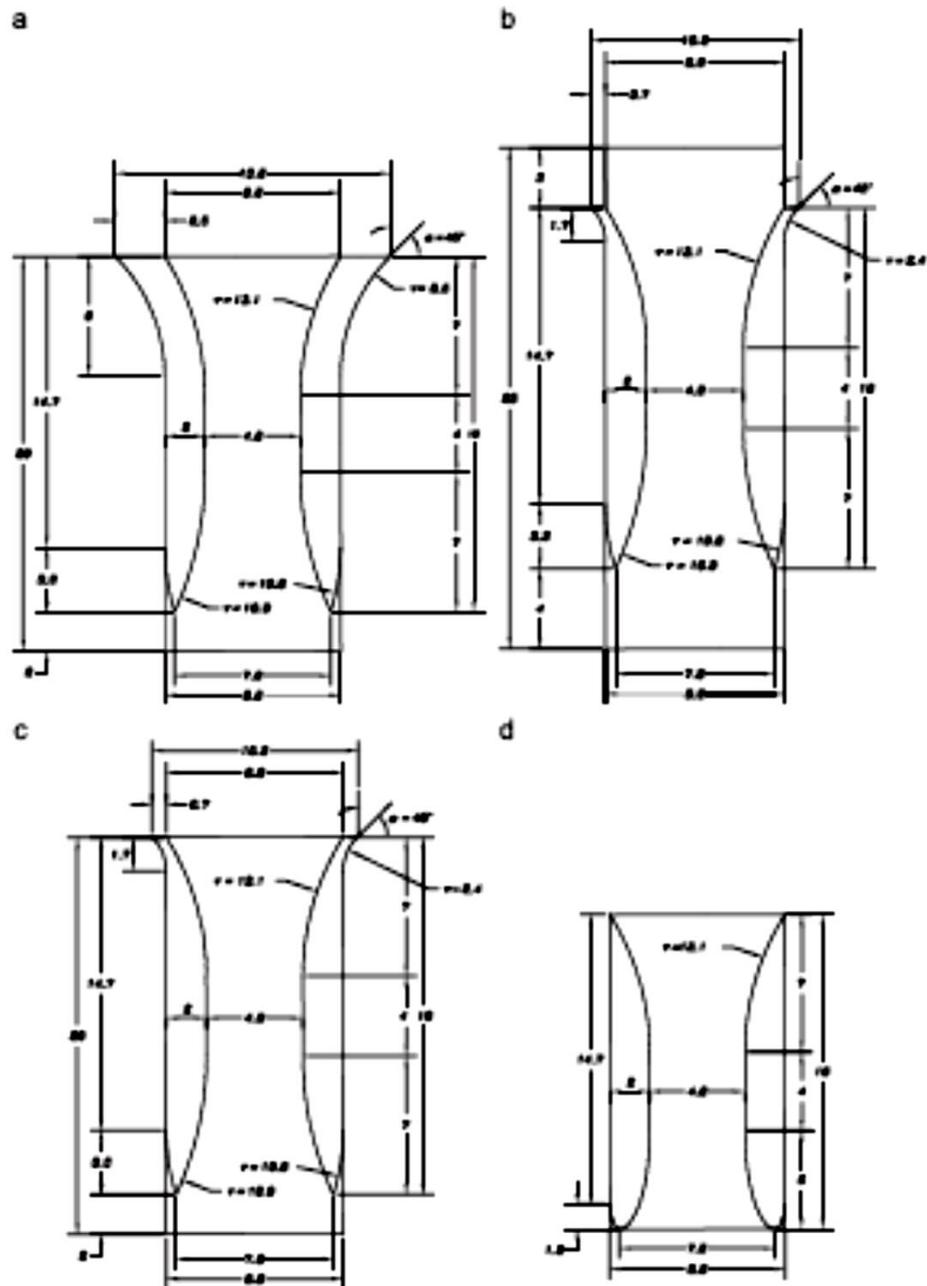
Dari Persamaan 25 dapat diamati bahwa kemiringan permukaan bebas tergantung pada bilangan Froude. Untuk $Fr < 1$ pengurangan lebar menurunkan tingkat permukaan, sementara peningkatan lebar meningkatkan level ini, untuk $Fr > 1$ sebaliknya terjadi. Untuk $Fr = 1$ Persamaan 25 menunjukkan bahwa permukaan air memiliki kemiringan yang tak merata, kecuali jika $(db / dx) = 0$. Karena permukaan bebas tidak dapat memiliki kemiringan tak hingga, disimpulkan bahwa angka Froude sama dengan 1 hanya pada bagian di mana $(db / dx) = 0$. Untuk menghitung kecepatan aliran di tenggorokan saluran pengarah (yaitu zona rotor), kita menggunakan persamaan 13 dan 16, dan diperoleh :

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{V_0 y_0}{V_1 K_b} - \left(\frac{V_0^2}{2g} + y_0 \right) = 0 \dots\dots\dots(26)$$

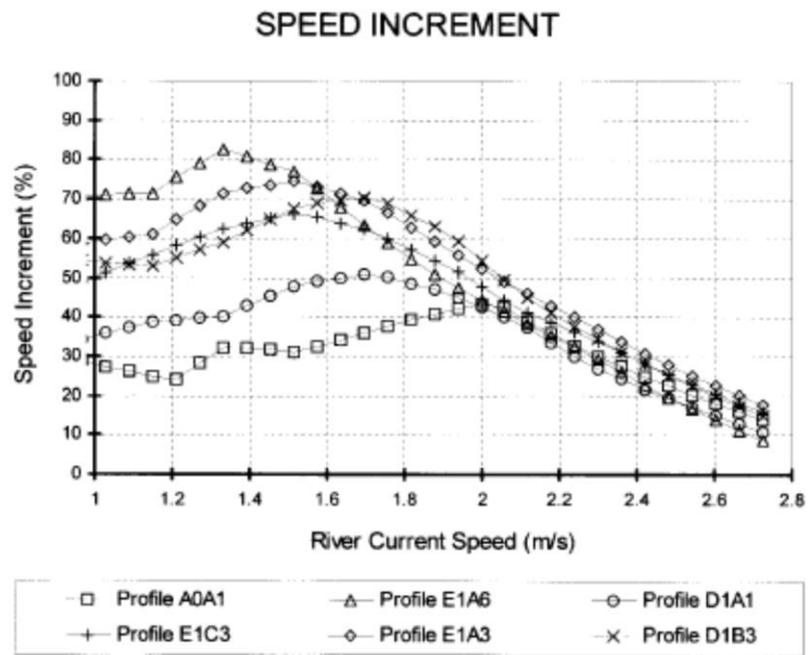
dimana K_b adalah rasio penyempitan lebar non-dimensi $K_b = (b_1/ b_0)$. Setelah memilih parameter konstruktif ini, Persamaan 26 kemudian dapat diselesaikan dengan menggunakan metode Newton \pm Raphson, dan diperoleh V_1 sebagai fungsi V_0 .

Ponta dan Dutt (2000) melakukan pengujian dengan 4 model saluran yang dibuat dengan skala penelitian laboratorium, dapat dilihat pada Gambar 18.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan skema tipe saluran ini model saluran yang paling baik adalah model saluran EIA6 yang dapat meningkatkan kecepatan aliran hingga 70% yang dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 18 Model saluran (a) EIA6, (b) DIB3, (c) EIA3, (d) A0A1



Gambar 19 Hasil Pengujian peningkatan kecepatan air dengan menggunakan model saluran pengarah.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat Pelaksanaan

Perancangan dan pembuatan saluran pengarah ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida Fakultas Teknik Universitas Lampung (UNILA) pada bulan Agustus 2018 - Oktober 2018. Pengujian model sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro menggunakan turbin helik dan penampang saluran pengarah akan dilaksanakan di saluran irigasi irigasi Way Tebu, desa Banjaragung Udik, kecamatan Pugung, kabupaten Tanggamus pada bulan November 2018.

B. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini digunakan berbagai alat dan bahan untuk pembuatan dan pengujian kinerja model sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro menggunakan turbin helik dan saluran pengarah sebagai berikut :

1. Alat pembuatan model sistem PLTMH menggunakan saluran pengarah

Adapun alat yang digunakan dalam pembuatan model sistem PLTMH menggunakan saluran pengarah dapat dilihat pada Gambar 20 sampai Gambar 23 sebagai berikut :



(a)



(b)

Gambar 20 (a) Mesin las dan elektroda, (b) Mesin Gerinda



(a)



(b)

Gambar 21 (a) palu, (b) Mesin Bor



(a)



(b)



(c)

Gambar 22 (a) Mistar, siku, jangka sorong, busur,(b) meteran,(c) waterpas.



(a)



(b)

Gambar 23 (a) plat 1,2 mm, (b) besi siku.

2. Alat ukur dan perlengkapan untuk pengujian

Adapun alat yang digunakan dalam pengujian model PLTM menggunakan turbin helik dapat dilihat pada Gambar 24 sampai Gambar 25 sebagai berikut :



(a)



(b)



(c)

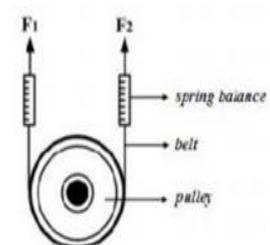
Gambar 24 (a) Clamp ampere, (b) tachometer, (c) current meter.



(a)



(b)



(c)

Gambar 25 (a) Generator dan (b) rangkaian lampu, (c) Torsimeter

C. Tahapan Penelitian

Dalam melakukan perancangan dan pembuatan saluran pengarah turbin helik ini dilakukan dengan beberapa tahap yang diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

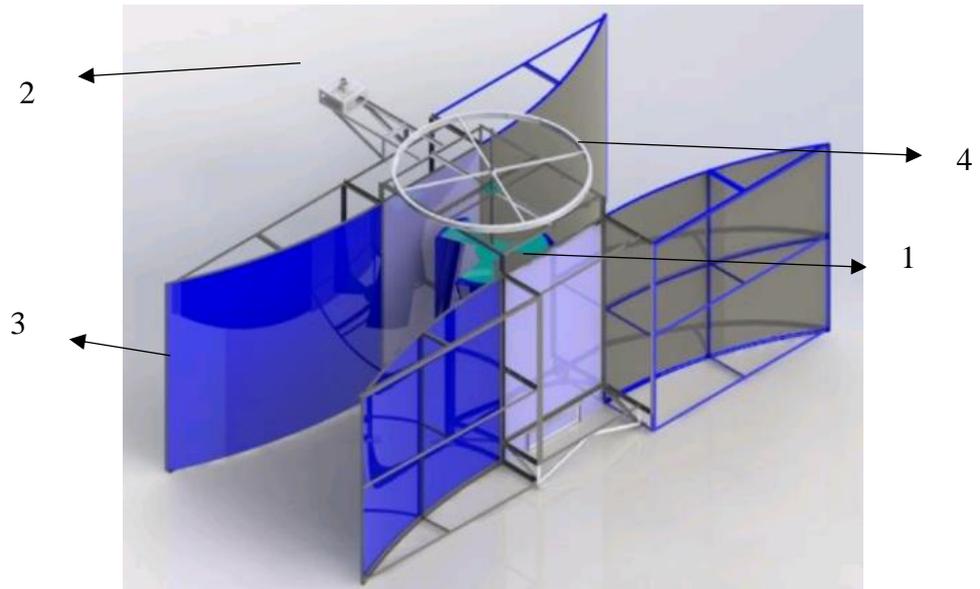
Pada tahap ini dilakukan studi literatur yang menjadi acuan dalam menjalankan penelitian mengenai saluran pengarah aliran, PLTMH, turbin helik serta daya yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTMH

2. Tahap persiapan

Pada tahap ini dilakukan studi potensi dengan mengumpulkan data potensi daya hidrolis aliran irigasi berupa kecepatan air dan debit aliran. Data kecepatan yang digunakan merupakan data pengukuran secara langsung irigasi Way Tebu.

3. Tahap perancangan

Dengan mengetahui potensi yang tersedia melalui analisis data hasil studi potensi, maka dilakukan perancangan model sistem PLTMH menggunakan turbin helik dan saluran pengarah dengan dimensi dan ukuran yang digunakan adalah mengikuti dimensi dan ukuran saluran irigasi Way Tebu. Skema sistem PLTMH yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 26 dan bentuk model turbin helik yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 27.



Gambar 26 Skema sistem PLTMH menggunakan turbin helik dan saluran pengarah yang akan digunakan pada saluran irigasi Way Tebu.

Keterangan gambar :

- | | |
|--------------|---------------------|
| 1. Turbin | 3. Saluran pengarah |
| 2. Generator | 4. Puli |



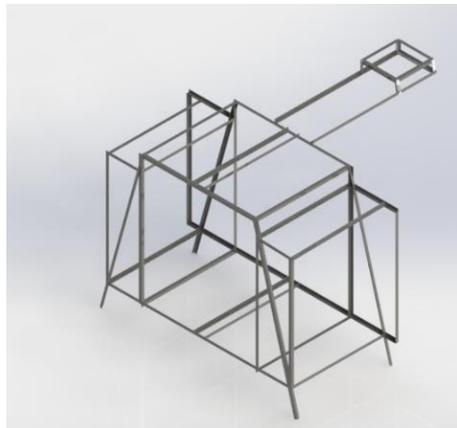
Gambar 27 Model turbin helik yang akan digunakan pada saluran irigasi Way Tebu.

4. Tahap pembuatan model sistem PLTMH

Tahap selanjutnya adalah pembuatan model sistem PLTMH menggunakan saluran pengarah yang telah dirancang sebelumnya. Adapun tahapan pembuatan sistem PLTMH adalah sebagai berikut :

a. Pembuatan model sistem PLTMH menggunakan turbin helik

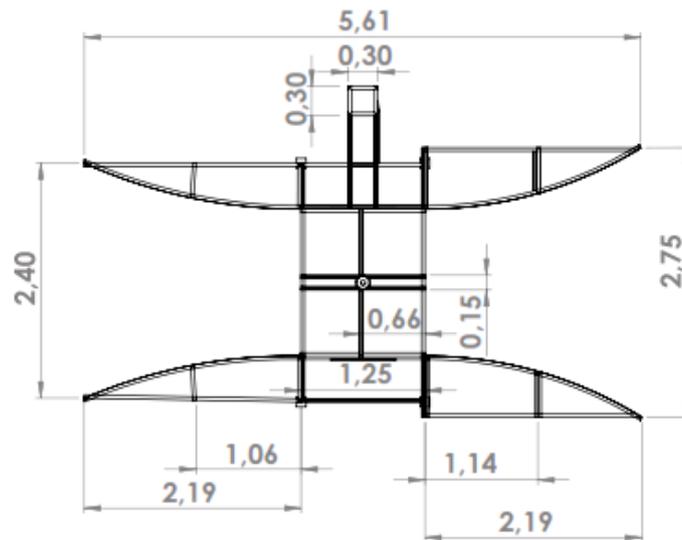
Model sistem PLTMH dibuat berdasarkan rancangan pada Gambar 26. Agar model sistem PLTMH sesuai dengan Gambar 26 maka yang pertama dibuat adalah dudukan turbin yang dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 28 Skema dudukan turbin pada model sistem PLTMH yang akan digunakan pada saluran irigasi Way Tebu.

b. Pembuatan saluran

Saluran yang dirancang untuk digunakan pada sistem pembangkit ini adalah saluran yang dibentuk terdiri atas susunan nosel, saluran lurus, dan difuser. Bentuk ini sesuai dengan yang digunakan Ponta dan Dutt (2000). Bentuk dan ukuran penampang saluran yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 29.



Gambar 29 Ukuran saluran pengarah

c. Pemasangan komponen sistem PLTMH

Pemasangan dilakukan dengan memasang komponen-komponen berupa, turbin, sistem transmisi, saluran pengarah serta generator pada lokasi yang telah ditentukan.

5. Pengujian sistem PLTMH

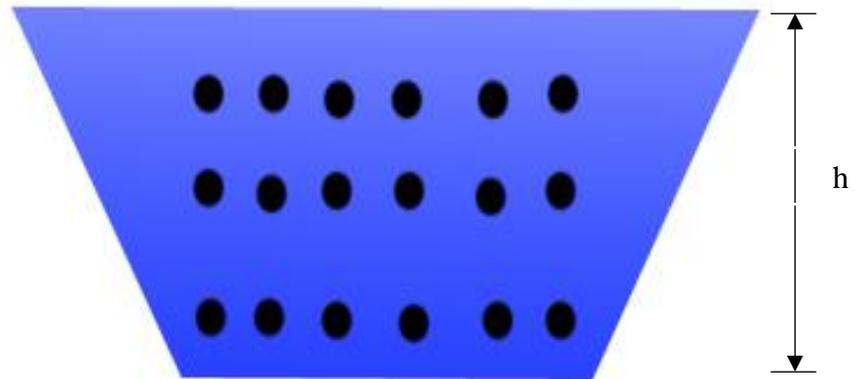
Pengujian sistem PLTMH dilakukan untuk memperoleh data pengujian dengan beberapa variasi pengujian seperti ketinggian air dan beban daya listrik serta pengaruhnya terhadap daya listrik yang dihasilkan. Data pengujian yang diambil adalah kecepatan aliran air, arus dan tegangan listrik yang dihasilkan, kecepatan putaran turbin dan kecepatan putaran generator. Adapun langkah-langkah yang digunakan dalam pengujian model pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) di irigasi Way Tebu adalah sebagai berikut:

1. Membuka pintu air pada bendungan sampai ketinggian air pada turbin yang telah ditentukan yaitu 10 cm dibawah permukaan turbin, sejajar permukaan turbin, dan 10 cm diatas permukaan turbin.
2. Mengukur kecepatan aliran air pada setiap level ketinggian air
3. Setelah turbin beroperasi dilakukan pengukuran kecepatan putaran turbin dan putaran generator menggunakan *tacho meter*.
4. Mengukur torsi dengan menggunakan pengereman sabuk
5. Mengukur arus dan tegangan listrik menggunakan *clampmeter* dan *multimeter* yang dihasilkan generator dengan tanpa pembebanan dan variasi pembebanan listrik.

Pengukuran kecepatan aliran menggunakan alat ukur *current meter* dengan metode pengukuran tiga titik referensi, yaitu 0,2h, 0,6h, 0,8h, dimana (*h*) merupakan ketinggian permukaan air diukur dari dasar irigasi. Kecepatan rata-rata aliran dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 27 berikut.

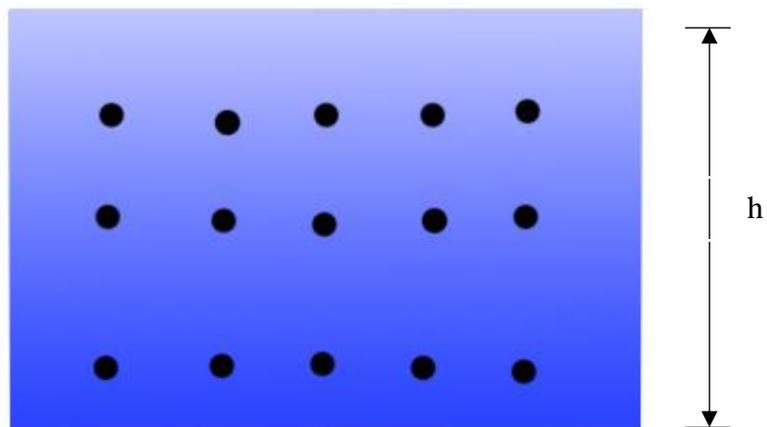
$$V = \frac{V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8}}{3} \dots\dots\dots (27)$$

Pengukuran kecepatan aliran akan dilakukan pada aliran air irigasi (tidak menggunakan saluran pengarah) dan aliran air menggunakan saluran pengarah. Pada aliran air irigasi pengukuran dilakukan pada tiga titik referensi kedalaman dan pengukuran juga membagi penampang lebar sungai menjadi 6 segmen untuk meminimalisir kesalahan pengukuran kecepatan aliran seperti pada Gambar 30.



Gambar 30 Metode pengambilan data kecepatan air pada irigasi

Pada aliran air menggunakan saluran pengarah pengukuran dilakukan pada tiga titik referensi kedalaman dan pengukuran juga membagi penampang lebar sungai menjadi 5 segmen seperti pada Gambar 31.



Gambar 31 Metode pengambilan data kecepatan air pada aliran air menggunakan saluran pengarah

Hasil pengukuran disemua titik dirata – ratakan kemudian disubsitusi dalam persamaan kalibrasi alat ukur yang dikalibrasi di Laboratorium Balitbang

Hidrologi dan Tata Air, Kementrian PUPR pada persamaan 28 dan 29 berikut ini (Tobiin, 2017).

Untuk $n < 1,22$ maka,

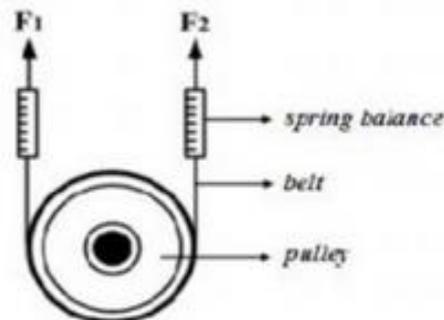
$$V = 0,1253 n + 0,0193 \text{ (m/s)} \dots\dots\dots (28)$$

Untuk $n \geq 1,22$ maka,

$$V = 0,1312 n + 0,0121 \text{ (m/s)} \dots\dots\dots (29)$$

Dimana n merupakan jumlah putaran propeler.

Pengukuran torsi turbin dapat dilakukan dengan melakukan pengereman turbin saat berputar dengan sistem pengereman sabuk. Sistem pengereman sabuk menggunakan dua buah neraca pegas sebagai pengukur besar tegangan tali pengereman seperti pada Gambar 32 (Tohari, 2015).



Gambar 32 Sistem pengereman sabuk

Selanjutnya untuk mengetahui torsi dihitung dengan selisih tegangan tali antara sisi ketat dan sisi kendur merupakan gaya (F) pengereman seperti persamaan berikut.

$$T = F \cdot r \dots\dots\dots (30)$$

Sehingga daya turbin (P_t) dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$P_t = T \cdot \omega \dots \dots \dots (31)$$

Dimana :

$$F = |F_1 - F_2| \text{ (N)}$$

r = Jari-Jari *pulley* pengereman (m)

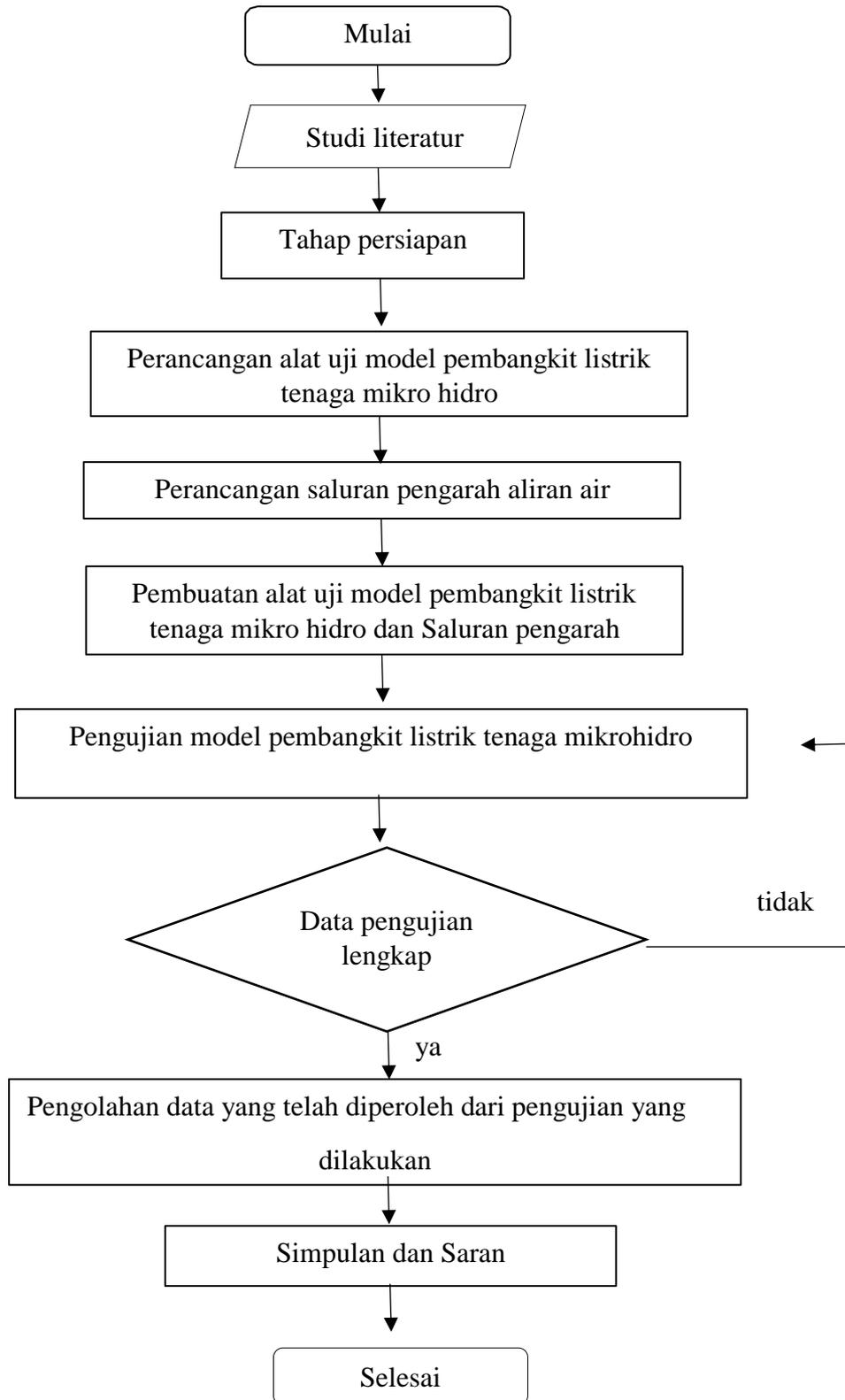
T = Torsi turbin (Nm)

ω = Kecepatan sudut turbin (rad/s)

6. Analisis data pengujian

Analisis data pengujian dilakukan untuk mengetahui kenaikan kecepatan aliran menggunakan saluran pengarah, daya hidro (P_h), daya turbin (P_t), daya listrik (P_l), dan efisiensi (η) dari model sistem PLTMH menggunakan saluran pengarah. Untuk menghitung daya hidro digunakan data berupa kecepatan air pada model PLTMH menggunakan saluran dengan menggunakan persamaan 9. Untuk menghitung daya turbin digunakan data torsi dan putaran turbin dengan menggunakan persamaan 8. Daya listrik yang dihasilkan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 10 dimana tegangan dan kuat arus listrik diukur dengan menggunakan *clamp amperer*. Kemudian setelah daya hidro dan daya turbin dihitung, efisiensi turbin dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 11.

D. Diagram Alir Pelaksanaan Tugas Akhir



Gambar 33 Diagram alur penelitian tugas akhir

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Adapun simpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dalam laporan tugas akhir ini telah diberikan rancang bangun saluran pengarah pada model sistem PLTMH dengan memanfaatkan saluran irigasi, Way Tebu, Desa Banjaragung Udik, Kecamatan Pugung, Kabupaten Tanggamus.
2. Hasil pengukuran kecepatan aliran menggunakan saluran pengarah pada ketinggian air 1,35 m, 1,45 m dan 1,55 m diperoleh kenaikan kecepatan aliran berturut-turut sebesar 61,31%, 49,49% dan 49,36%
3. Hasil pengujian torsi turbin diperoleh efisiensi turbin pada kecepatan air 0,642 m/s yaitu sebesar 85,80%, sedangkan pada kecepatan 0,734 m/s efisiensinya sebesar 75,36%, pada kecepatan 0,814 m/s efisiensinya sebesar 74,66%.
4. Hasil pengujian model PLTMH diperoleh efisiensi maksimum sistem sebesar 41,27% pada kecepatan aliran 0,642 m/s, sedangkan pada kecepatan air 0,734 m/s efisiensi sistem sebesar 36,73% dan pada kecepatan aliran tertinggi 0,814 m/s efisiensi sistem sebesar 40,38%.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setekah melakukan pengujian dan analisa pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan nosel atau model saluran pengarah aliran lainnya untuk mengetahui perbandingan pengaruh saluran pengarah terhadap unjuk kerja turbin.
2. Diperlukan kajian profil turbin helik untuk mengetahui pengaruh profil sudu turbin terhadap unjuk kerja turbin.

DAFTAR PUSTAKA

113 Desa Belum Teraliri Listrik, 2018. Radar Lampung, 25 September, hal.4, kol.4

Gorlov, A.M., 2008. Development of The Helical Reaction Turbine” *Final Technical Report (DEFGO1-96EE 1566)*.

Gorlov, A.M., 1998. *Turbine With a Twist : Journal Macro-Engineering and The Earth World Project for Year 2000 and Beyond*. Northeastern University. Boston, MA.

Hertnacahyani, E., Taufiqirrahman.M. dan Ismail.R., (2014). Analisis hidrodinamika hidrofoil dengan menggunakan perangkat Lunak cfd (*computational fluid dynamic*). Prosiding SNATIF Ke -1. Universitas Diponegoro.

Himran, S., 2017. Turbin air (Teori dan dasar perencanaan). Jakarta : Andi Publisher.

Munson, 2005. Mekanika Fluida. Edisi Keempat Jilid 2. Jakarta : Erlangga.

PLN(Persero), 2018. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik-Perusahaan Listrik Negara (RUPTL-PLN) 2018.PT.PLN (Persero). Jakarta.

Ponta, F.L. and P.M. Jacovkis, 2008. *Marine-current power generation by diffuser-augmented floating hydro-turbines*, *Renewable Energy* 33 (2008) pp. 665–673.

Ponta, F.L. and Dutt, G.S., 2000. *An improved vertical-axis water-current turbine incorporating a channelling device*, *Renewable Energy* 20 (2000) 223±241.

Rosalina, N., 1992. Hidrolika saluran terbuka.:Erlangga

Sembiring, O.S., 2019. Rancang Bangun Model Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan Memanfaatkan Saluran Irigasi Way Tebu Desa Banjaragung Udik Kecamatan Pugung Kabupaten Tanggamus. Universitas Lampung.

Shiono, M., Suzuki, K. dan Kiho, S., 2002. *Output Characteristic of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generations : journal ISSN*. Nihon University. Japan.

Tobiin, A., 2017. Kalibrasi *current meter* No. Permintaan 6/PR.01/VII/2017
Laboratorium UPT Balitbang Hidrologi dan Tata Air, Kementerian
PUPR.

Tohari, M. dan Ibrahim,L.H., 2015. Pengujian Unjuk Kerja Turbin *Crossflow* Skala
Laboratorium Dengan Jumlah Sudu 20. Jurnal Teknik Mesin. Sekolah
Tinggi Teknologi Harapan.