

**PENGARUH TINGGI MUKA AIR DANAU TERHADAP
UNJUK KERJA TURBIN AIR DI PT PLN UNIT
PEMBANGKITAN SUMBAGSEL**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Strata Satu Teknik
Pada Program Studi Teknik Mesin
Universitas Islam Riau*



OLEH :

HARITZ AISY RASYID
153310249

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2021

PENGARUH TINGGI MUKA AIR DANAU TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN AIR DI PT PLN UNIT PEMBANGKITAN SUMBAGSEL

Haritz Aisy Rasyid, Sehat Abdi Saragih

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau
Jl. Kaharudin Nasution KM.11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru
Email : Haritz.aisyrasyid@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Sebelum PLTA di Danau Maninjau beroperasi, tinggi muka air Danau Maninjau adalah berkisar 463,7 mdpl hingga 464,5 dpl (tahun 1984 s.d 1987). Setelah PLTA beroperasi, tinggi muka air terus menurun mulai tahun 1993 hingga 1995, dan puncaknya tahun 1998 sudah tidak mengalir (*over flow*) ke Batang Antokan. Data tinggi muka air danau sejak tahun 1984 hingga 2001 menunjukkan bahwa rata-rata tinggi muka air Danau Maninjau adalah 462,5 hingga 463,5 mdpl. PLTA Maninjau beroperasi normal pada tinggi muka air 463,15 mdpl, maka keberadaan dan operasional PLTA Maninjau hampir selalu berada pada kondisi tidak dapat beroperasi sesuai kapasitas pasangannya. Hal ini berarti kerugian bagi Sumatera Barat karena kekurangan energi dari sumber yang dapat terbarukan, biaya operasional murah dan tidak mencemari lingkungan. Selain dari curah hujan di permukaan danau, fluktuasi tinggi muka air danau juga ditentukan oleh curah hujan di daerah tangkapan air yang jadi pemasok air ke Danau Maninjau. Oleh karena itu diperlukan analisa pengaruh tinggi muka air danau terhadap unjuk kerja turbin air. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan pengaruh tinggi muka air terhadap unjuk kerja turbin serta untuk mendapatkan tinggi muka air danau yang memiliki unjuk kerja turbin terbaik. Pada penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa Tinggi muka air danau mempengaruhi unjuk kerja dari turbin air, dimana semakin besar tinggi muka air danau maka unjuk kerja turbin juga akan semakin baik. Serta unjuk kerja turbin air yang terbaik terdapat pada tinggi muka air danau 464 mdpl dimana diperoleh kecepatan aliran terbesar $1,93\text{ m/s}$, debit air terbesar $11,07\text{ m}^3/\text{s}$. Rugi hidrolisis terbesar 0,59 m. Nethead terbesar 235,40 m. Daya output turbin terbesar 64025,20 kW serta efisiensi terbesar 96,71%.

Kata kunci : Tinggi muka air danau, Unjuk kerja turbin air

**THE EFFECT OF LAKE WATER LEVEL ON THE PERFORMANCE OF
WATER TURBINE AT PT PLN SUMBAGSEL GENERATION UNIT**

Haritz Aisy Rasyid, Sehat Abdi Saragih

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau
Jl. Kaharudin Nasution KM.11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru
Email : Haritz.aisyrasyid@student.uir.ac.id

ABSTRACT

Before the hydropower plant in Lake Maninjau operated, the water level of Lake Maninjau was around 463.7 mdpl to 464.5 mdpl (1984 to 1987). After the hydropower plant operated, the water level continued to decline from 1993 to 1995, and at its peak in 1998 there was no overflow to Batang Antokan. Lake water level data from 1984 to 2001 shows that the average water level of Lake Maninjau is 462.5 to 463.5 mdpl. PLTA Maninjau operates normally at a water level of 463.15 mdpl, so the existence and operation of PLTA Maninjau is almost always in a state of inoperability according to its capacity. This means losses for West Sumatra due to a lack of energy from renewable sources, low operating costs and does not pollute the environment. Apart from rainfall on the surface of the lake, fluctuations in lake water level are also determined by rainfall in the catchment area which supplies water to Lake Maninjau. Therefore it is necessary to analyze the effect of lake water level on the performance of the water turbine. The purpose of this research is to obtain the influence of water level on turbine performance and to obtain the water level of the lake which has the best turbine performance. In the research that has been done, it can be seen that the lake water level affects the performance of the water turbine, where the greater the lake water level, the better the turbine performance will be. As well as the best performance of the water turbine is at the lake water level of 464 mdpl where the largest flow rate is 1.93m/s, the largest water discharge is 11.07 m³/s. The largest hydrolysis loss was 0.59 m. The largest nethead is 235.40 m. The largest turbine output power is 64025.20 kW and the greatest efficiency is 96.71%.

Keywords: Lake water level, Water turbine performance

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir dengan judul “**Pengaruh Tinggi Muka Air Danau Terhadap Unjuk Kerja Turbin Air Di Pt Pln Unit Pembangkitan Sumbagsel**”. Shalawat serta salam tidak lupa pula diucapkan untuk baginda Rasulullah SAW, serta ucapan terimakasih untuk keluarga, sahabat dan orang-orang yang selalu memberikan semangat.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis banyak mengalami hambatan dan kesulitan, namun berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Pada kesempatan ini dengan hati yang tulus penulis ingin mengucapkan terimakasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu mendukung penulis dalam berbagai hal.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, MT, Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr. Mursyidah, M.sc, Selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT, Selaku Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
5. Bapak Akmar Efendi, S.Kom, M.Kom Selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
6. Bapak Ir. Syawaldi, M.Sc, Selaku ketua program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
7. Bapak Sehat Abdi Saragih. ST., MT. Selaku dosen pembimbing proposal tugas akhir yang dengan penuh kesabaran dalam membimbing, memberikan

masukkan, arahan motivasi, dan nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

8. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Islam Riau khususnya Program Studi Teknik Mesin yang telah banyak membekali penulis dengan ilmu-ilmu pengetahuan selama mengikuti perkuliahan.
9. Rekan-rekan Mapedallima Hangtuh yang telah mendukung dan memberi semangat kepada penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini dengan baik.
10. Rekan – Rekan Teknik Mesin yang telah memberi dukungan dan semangat kepada kepada penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam menulis laporan ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan segala saran dan kritik yang bersifat membangun sebagai pelajaran untuk kedepannya. Semoga laporan ini dapat berguna bagi pembaca.

Pekanbaru, 09 Februari 2020

Penulis

Haritz Aisy Rasyid
153310249

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR NOTASI.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Turbin Air.....	5
2.1.1 Jenis-Jenis Turbin Air.	5
2.1.2 Turbin Air Francis dan Prinsip Kerjanya.	8
2.2 Tinggi Muka Air Di Danau Maninjau.....	11
2.2.1 Danau Maninjau	11
2.2.2 Morfometri Danau	12
2.2.3 Tinggi Muka Air Pada Danau Maninjau.....	13
2.3 Unjuk Kerja Turbin Air.....	14
2.3.1. Kecepatan Aliran	14
2.3.2. Debit	14
2.3.3. Rugi Hidrolisis	15
2.3.4. <i>Minor Losses</i>	15

2.3.5. <i>Mayor Losses</i>	16
2.3.6. Bilangan Reynold (Re).....	16
2.3.7. <i>Friction Factor</i>	17
2.3.8. Net Head (h).....	17
2.3.9. Kecepatan Spesifik (Ns).....	17
2.3.10. Daya Output (P).....	18
2.3.11. Efisiensi turbin (η_{th}).....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Waktu dan Tempat penelitian.....	19
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.3 Alat dan Bahan.....	21
3.4 Prosedur Pengujian.....	24
3.5 Metode Pengambilan Data.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Hubungan Tinggi Muka Air Danau Terhadap Kecepatan Aliran.....	26
4.2 Hubungan Tinggi Muka Air Danau Terhadap Debit Air.....	27
4.3 Hubungan Tinggi Muka Air Danau Terhadap Rugi Hidrolisis.....	28
4.4 Hubungan Tinggi Muka Air Danau Terhadap <i>Net Head</i>	29
4.5 Hubungan Tinggi Muka Air Danau Terhadap Kecepatan Spesifik... ..	30
4.6 Hubungan Tinggi Muka Air Danau Terhadap Daya <i>Output</i> Turbin Air.	31
4.7 Hubungan Tinggi Muka Air Danau Terhadap Efisiensi Turbin Air... ..	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	34
5.1. Kesimpulan.....	34
5.2. Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA.....	35
LAMPIRAN.....	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Turbin air poros vertikal.....	6
Gambar 2.2 Turbin air poros <i>Horizontal</i>	6
Gambar 2.3 Turbin Pelton.....	7
Gambar 2.4 Turbin Kaplan	7
Gambar 2.5 Turbin Francis	8
Gambar 2.6 Komponen Turbin Francis	9
Gambar 2.7 Peta Batimetri Danau Maninjau.....	12
Gambar 2.8 Hubungan antara kedalaman dengan luas permukaan dan volume air Danau Maninjau	13
Gambar 2.9 Fluktuasi Tinggi Muka Air Danau	14
Gambar 3.1 Power House PLTA Maninjau	19
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir.	20
Gambar 3.3 Spesifikasi Turbin Air	21
Gambar 3.4 Alat Ukur Tinggi Muka Air	22
Gambar 3.5 Flowmeter.....	22
Gambar 3.6 Tachometer.....	23
Gambar 3.7 <i>Pressure Gauge</i> Pada Penstock.....	23
Gambar 4.1 Diagram Perbandingan Tinggi Muka Air Terhadap Kecepatan Aliran.	27
Gambar 4.2 Diagram Perbandingan Tinggi Muka Air Danau Terhadap Debit Air.	28
Gambar 4.3 Diagram Perbandingan Tinggi Muka Air Terhadap Rugi Aliran Hidrolisis.	29
Gambar 4.4 Diagram Perbandingan Tinggi Muka Air Terhadap Net Head	30
Gambar 4.5 Diagram Perbandingan Tinggi Muka Air Terhadap Kecepatan Spesifik Turbin.....	31
Gambar 4.6 Diagram Perbandingan Tinggi Muka Air Terhadap daya output turbin.	32
Gambar 4.7 Diagram Perbandingan Tinggi Muka Air Terhadap efisiensi turbin air.	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Morfometri Danau Maninjau	12
Tabel 2.2 Tabel Sudut Terhadap Koefisien Belokan.	15
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran Pada Pipa Pesat	26
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Debit Air Pada Pipa Pesat	27
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Rugi Aliran Hidrolisis Pada Pipa Pesat.....	29
Tabel 4.4 Tabel Hasil Perhitungan <i>Net Head</i>	30
Tabel 4.5 Tabel Hasil Perhitungan Kecepatan Spesifik.....	31
Tabel 4.6 Pengaruh tinggi muka air terhadap daya <i>output</i> turbin Air.....	32
Tabel 4.7 Pengaruh tinggi muka air terhadap efisiensi turbin air	33

DAFTAR NOTASI

SIMBOL	KETERANGAN	SATUAN
v	Kecepatan Aliran	m/s
g	Percepatan Gravitasi	m/s^2
h	Head(Tinggi Tekan)	m
C_v	Koefisien Kecepatan	-
HWL	Height Water Level	m
TWL	Tailrace Water Level	m
x	Titik Pusat Penstock	m
n	Jumlah Turbin	-
A	Luas Penampang	m^2
Q	Debit	m^3/s
H	Tinggi Tekan Penstock	m
H	Rugi Hiralisis	m
H_e	Minor Losses	m
H_m	Mayor Losses	m
K_b	Koefisien Belokan	-
f_f	Faktor Gesek	-
h	Net Head	m
N_s	Kecepatan spesifik	kw
P	Daya Output	Watt
ϵ	Kekasaran permukaan pipa	mm
μ	Viskositas kinematis air	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini masyarakat sangat memerlukan energi listrik untuk kebutuhan sehari-hari terutama untuk penerangan pada saat malam hari, bukan hanya itu saja listrik juga diperlukan untuk menggerakkan kereta api, mobil listrik, kipas angin dan lain sebagainya. Salah satu perusahaan penghasil listrik adalah PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) prinsip kerja pada PLTA yaitu air danau memiliki energi potensial, kemudian air mengalir dari tempat tinggi ke tempat yang lebih rendah pada saat ini air memiliki energi kinetik yang akan memutar sudu-sudu turbin menghasilkan energi mekanik akibat dari air yang memutar sudu-sudu turbin maka rotor akan berputar sehingga generator berputar yang menghasilkan energi listrik, salah satu PLTA yang ada di Sumatra bagian Selatan (sumbagsel) adalah PLTA Maninjau.

PLTA Maninjau berada disebelah barat daya danau Maninjau, terletak kira-kira 125 Km pinggir pantai utara kota Padang. Keseluruhan proyek PLTA Maninjau merupakan daerah *Vulkanik* yang terletak dipinggir Bukit Barisan. Peresmian PLTA Maninjau dilaksanakan oleh presiden Soeharto pada tanggal 28 Desember 1983, saat itu PLTA Maninjau berada dibawah pengawasan dan operasional PLN Wilayah III Sumbar-Riau sebagai salah satu bagian dari satu administrasi surat keputusan Direksi No.079/DIR/82. Sesuai dengan tingkat perkembangan organisasi selanjutnya, maka dengan surat keputusan Direksi No.097. K/023/DIR/1997, PLN Sektor Bukittinggi berubah nama menjadi PT. PLN (Persero) Pembangkitan Sumbagsel Sektor Pembangkitan Bukittinggi yang berkedudukan di Bukittinggi dengan unit kerja PLTA Maninjau Lubuk Sao, danau Maninjau merupakan sisa dari kawasan gunung api purba sitinjau (Gunung api strato atau gunung api berbentuk kerucut). Danau Maninjau dibatasi oleh dinding kaldera yang terbentuk oleh sesar (patahan kulit bumi) dan bekas erupsi gunung api. Dari data yang ditampilkan dokumen Penyusunan Rancana Tata Ruang Kawasan Danau Maninjau diketahui bahwa tinggi dasar sungai saluran keluar air Danau Maninjau adalah 462 mdpl. Saluran keluar air dari Maninjau adalah Batang Sri Antokan yang juga

dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA) Maninjau. Kapasitas PLTA Maninjau adalah $4 \times 17 \text{ MW} = 68 \text{ MW}$. PLTA dioperasikan dengan membuat bendungan saluran air keluar pada ketinggian bendung 464 mdpl (meter di atas permukaan laut). Berdasarkan kondisi ini, maka dipastikan puncak muka air tertinggi Danau Maninjau adalah 464 mdpl. Pada kondisi air danau di bawah 462 mdpl, maka tidak ada air yang keluar dari danau dan masuk ke Batang Antokan. Sebelum PLTA Danau Maninjau beroperasi, tinggi muka air Danau Maninjau adalah berkisar 463,7 mdpl hingga 464,5 dpl (tahun 1984 s.d 1987). Setelah PLTA beroperasi, tinggi muka air terus menurun mulai tahun 1993 hingga 1995, dan puncaknya tahun 1998 sudah tidak mengalir (*over flow*) ke Batang Antokan. Data tinggi muka air danau sejak tahun 1984 hingga 2001 menunjukkan bahwa rata-rata tinggi muka air Danau Maninjau adalah 462,5 hingga 463,5 mdpl. PLTA Maninjau beroperasi normal pada tinggi muka air 463,15 mdpl, maka keberadaan dan operasional PLTA Maninjau hampir selalu berada pada kondisi tidak dapat beroperasi sesuai kapasitas pasangannya. Hal ini berarti kerugian bagi Sumatera Barat karena kekurangan energy dari sumber yang dapat terbarukan, biaya operasinal murah dan tidak mencemari lingkungan. Selain dari curah hujan di permukaan danau, fluktuasi tinggi muka air danau juga ditentukan oleh curah hujan di daerah tangkapan air yang jadi pemasok air ke Danau Maninjau. Oleh karena itu diperlukan analisa pengaruh tinggi muka air danau terhadap unjuk kerja turbin air.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang di tentukan adalah :

1. Apa pengaruh perbedaan tinggi muka air terhadap unjuk kerja dari turbin air?
2. Pada tinggi muka air berapa unjuk kerja turbin yang paling baik?

1.3 Tujuan

Ada beberapa tujuan dalam pembuatan tugas akhir, yaitu :

1. Untuk mengetahui apakah ada pengaruh perbedaan tinggi muka air danau terhadap unjuk kerja turbin air.
2. Untuk mendapatkan tinggi muka air danau yang memiliki unjuk kerja turbin air terbaik.

1.4 Batasan Masalah

Agar didapat hasil yang baik maka di dalam penulisan ini perlu adanya pembatasan masalah. Pembatasan masalah ini adalah untuk menyederhanakan permasalahan agar dapat memberikan arahan pemahaman secara mudah. Dalam penulisan ini, penulis membatasi permasalahan mengenai :

1. Pembahasan berfokus kepada tinggi muka tertinggi dan terendah di danau maninjau.
2. Pembahasan hanya dilakukan untuk turbin air yang memiliki tipe turbin *vertikal francis*.
3. Pembahasan berfokus data beban dan status di PLTA Maninjau.
4. Pembahasan berfokus kepada putaran turbin sebesar 600 RPM.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas landasan teori. Memberikan pemahaman singkat melalui penjelasan umum, uraian pengertian dan teori pendukung tentang analisa pengaruh tinggi muka air terhadap unjuk kerja turbin air.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

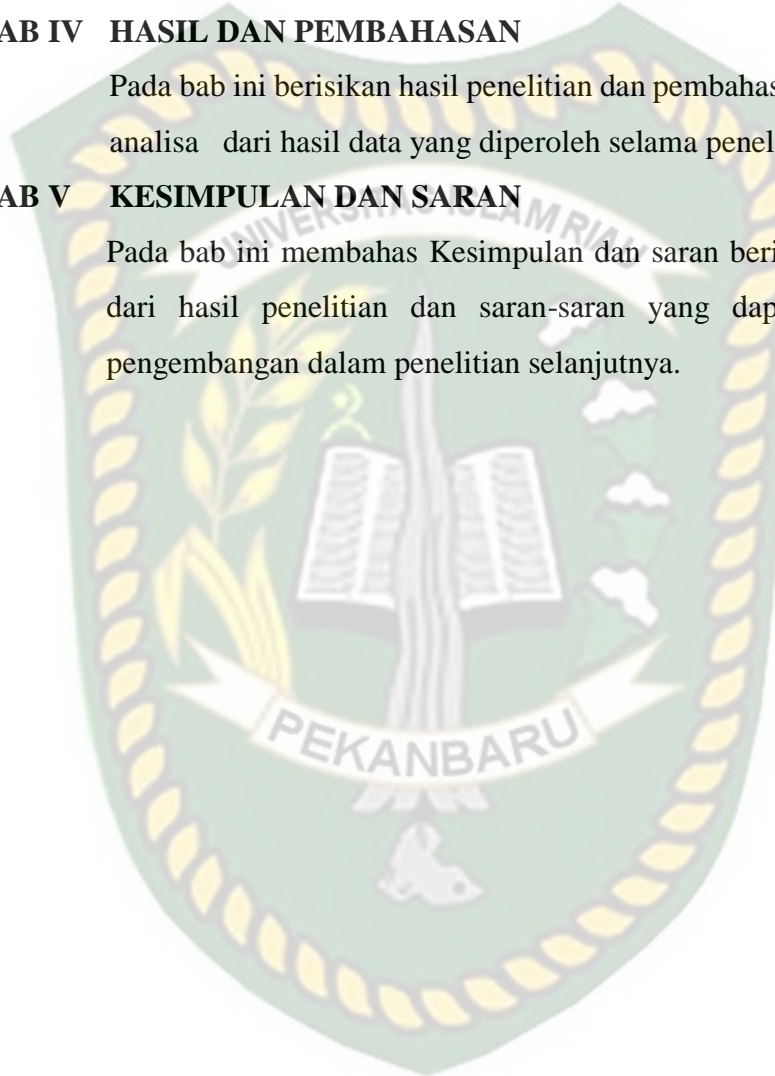
Pada bab ini membahas tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, dan prosedur dalam pembuatan serta pengujian untuk menganalisis data yang diperoleh.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan hasil penelitian dan pembahasan serta analisa analisa dari hasil data yang diperoleh selama penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini membahas Kesimpulan dan saran berisikan simpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang dapat mendukung pengembangan dalam penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Air

Turbin air adalah suatu mesin yang menggunakan air sebagai fluida kerja, yang dialirkan melalui pipa dari suatu tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah dimana turbin ditempatkan (Antonius G Martanto,1995). Dalam hal demikian, air memiliki energi potensial sewaktu mengalir didalam pipa, energi potensial air berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetis. Di dalam turbin air, energi kinetis air diubah menjadi energi mekanis yang timbul pada poros turbin ini merupakan suatu sumber tenaga atau daya sehingga dapat menggerakkan peralatan-peralatan lain yang sesuai dengan kebutuhan. Umumnya energi mekanis yang timbul pada turbin ini dipakai untuk menggerakkan generator listrik yang dikopel langsung dengan poros turbin. Secara umum suatu turbin air terdiri dari sebuah roda gerak yang disebut runner ataupun rotor dengan sejumlah sudu-sudu, *Vane* atau *Blade* ataupun *Bucket* yang ditumpu pada sekeliling roda gerak. Jadi energi yang dikandung air tersebut mendorong atau menerpa sudu-sudu dari roda gerak atau *Runner* sehingga *Runner* ikut berputar.

2.1.1 Jenis-Jenis Turbin Air.

Adapun jenis-jenis turbin air dalam dikelompokkan berdasarkan:

1. Tinggi tekan (*head*) dan jumlah air yang diperlukan.
 - a. Turbin Reaksi.

Turbin reaksi merupakan salah satu turbin air yang memerlukan tinggi tekan dan jumlah air yang besar. Pada turbin ini aliran air yang mempunyai energi potensial dan kinetis pada saluran masuk (*Penstock* dan *Spiral Casing*) langsung di alirkan pada sudu-sudu (*Bucket*) yang terpasang pada roda turbin (*Runner*). Pada saat energi yang dimiliki oleh air di ubah menjadi gaya tangensial pada roda turbin. Turbin ini bekerja atas gabungan dari kecepatan air dan tekanan yaitu, perbedaan tekanan air pada inlet turbin dan outlet turbin. Pada turbin ini sudu-sudu gerak (*Runner*) berada di dalam air.

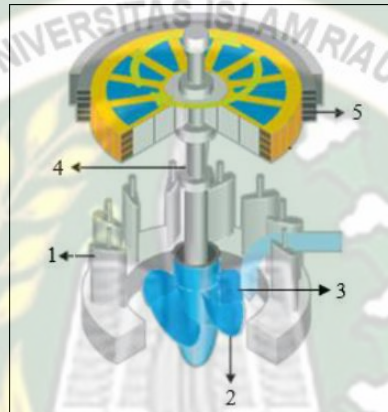
b. Turbin Impuls.

Turbin impuls merupakan salah satu turbin air yang memerlukan tinggi tekan dan jumlah air yang kecil.

2. Berdasarkan letak poros.

a. Poros Vertikal.

Dapat dilihat dari letak pemasangan dan letak generator terhadap turbin yang berada di atas dari letaknya turbin atau berada tegak lurus. Dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah



Gambar 2.1 Turbin air poros vertikal
(sumber :Kusnadi, dkk, 2018)

b. Poros Horizontal.

Dapat dilihat dari letak pemasangan dan letak generator terhadap turbin yang berada di samping dari letaknya turbin atau berada sejajar. Dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah.



Gambar 2.2 Turbin air poros *Horizontal*
(sumber : <https://www.zeco.it/>)

3. Pengelompokan berdasarkan nama penemunya.

a. Turbin Pelton.

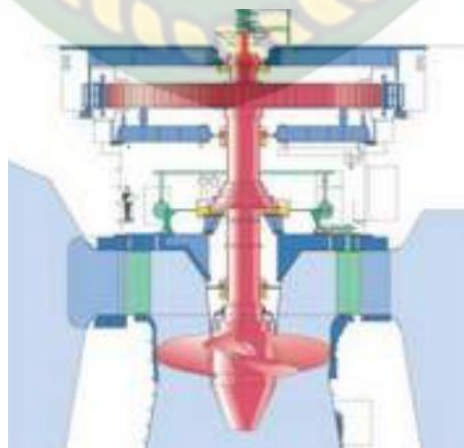
Dinamakan demikian untuk penghargaan pada Dr. Victor Kaplan (1878-1934) dari Bruenn (Jerman). Turbin ini merupakan turbin reaksi yang sesuai untuk tinggi tekan (*Head*) dan laju aliran rendah (Antonius G Martanto, 1995).



Gambar 2.3 Turbin Pelton
(sumber : Zain, Ajuar, 2019)

b. Turbin Kaplan.

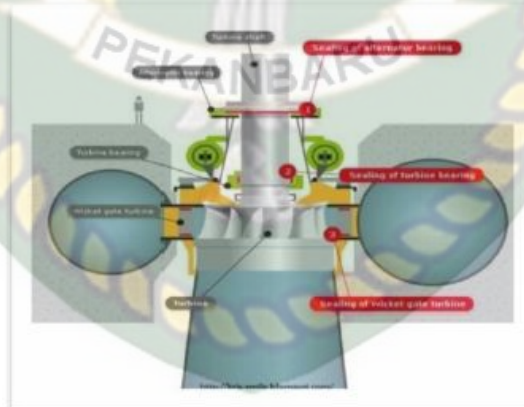
Dinamakan demikian untuk penghargaan pada Dr. Victor Kaplan (1878-1934) dari Bruenn (Jerman). Turbin ini merupakan turbin reaksi yang sesuai untuk tinggi angkat (*Head*) dan laju aliran rendah (Antonius G Martanto, 1995). Bisa dilihat pada PLTA Koto panjang dengan kapasitas maksimal sebesar 114 MW.



Gambar 2.4 Turbin Kaplan
(sumber: Hery Irawansyah, 2017)

c. Turbin Francis.

Turbin Francis adalah jenis turbin air yang dikembangkan oleh James B. Francis di Lowell, Massachusetts . [1] Ini adalah turbin reaksi aliran dalam yang menggabungkan konsep aliran radial dan aksial. Turbin Francis adalah turbin air yang paling umum digunakan saat ini. Mereka beroperasi di tinggi tekan dari 40 hingga 600 m (130 hingga 2.000 kaki) dan digunakan terutama untuk produksi tenaga listrik. Generator listrik yang paling sering menggunakan turbin jenis ini memiliki daya keluar yang umumnya berkisar dari hanya beberapa kilowatt hingga 800 MW, meskipun instalasi mini-hidro mungkin lebih rendah. Diameter penstock (pipa input) antara 3 dan 33 kaki (0,91 dan 10 m). Kisaran kecepatan turbin adalah 75 hingga 1000 rpm. Gerbang gawang di sekitar bagian luar runner putar turbin mengontrol laju aliran air melalui turbin untuk tingkat produksi daya yang berbeda. Turbin Francis hampir selalu dipasang dengan poros vertikal untuk mengisolasi air dari generator. Ini juga memfasilitasi instalasi dan pemeliharaan. Bisa dilihat pada PLTA Maninjau dengan Kapasitas 68 MW.

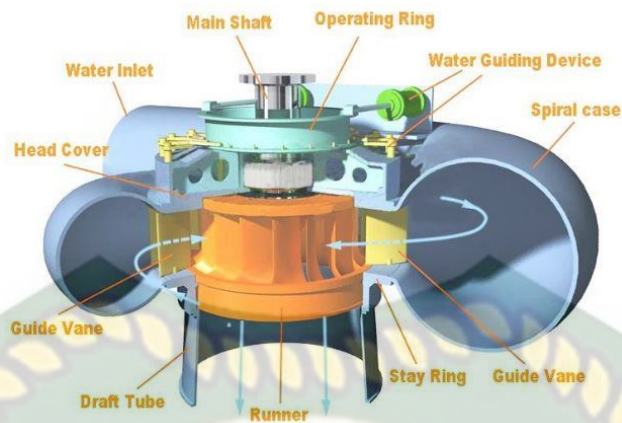


Gambar 2.5 Turbin Francis
(sumber : Bensardi)

2.1.2 Turbin Air Francis dan Prinsip Kerjanya.

1. Bagian-bagian Turbin Air 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 ini mempunyai 3 bagian utama yaitu *Runner*, *Guide Vane* (sudu pengarah), dan rumah turbin (*Casing*).



Gambar 2.6 Komponen Turbin Francis
(sumber :Zain, Ajuar, 2019)

a. *Runner*.

Merupakan bagian turbin Francis yang dapat berputar, terdiri dari poros dan sudu gerak turbin yang berfungsi mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik.

b. *Casing Spiral*.

Casing Spiral di sekitar *Runner* dikenal sebagai *Casing Volute* atau kotak gulir. Sepanjang panjangnya, ia memiliki banyak bukaan secara berkala untuk memungkinkan air bekerja mengenai *Runner*. Bukaan ini mengubah energi tekanan fluida menjadi energi momentum tepat sebelum fluida menimpa bilah. Ini mempertahankan kecepatan konstan meskipun faktanya banyak celah telah disediakan untuk fluida untuk memasuki sudu, karena luas penampang selubung ini berkurang secara seragam di sepanjang keliling.

c. *Guide Vane*.

Berfungsi sebagai pengarah aliran air dari katup pengatur kapasitas dari *Casing* ke *Runner* dan berfungsi menaikkan kecepatan aliran air sebelum menuju *Runner*.

d. *Pipa Inlet*

Merupakan bagian yang berfungsi untuk meneruskan air yang akan masuk ke *Casing*.

e. *Draft Tube*

Merupakan bagian yang berfungsi untuk meneruskan air dari turbin ke saluran pembuangan dengan menggunakan tinggi jatuh air.

2. Prinsip Kerja Turbin air Francis

Turbin francis bekerja dengan memakai prinsip kerja turbin reaksi. Air masuk ke *Guide Vane* memiliki tekanan tinggi, kemudian dirubah menjadi energi kinetik. Perubahan dari energi tekanan menjadi energi kinetik secara keseluruhan terjadi pada sudu pengarah. Dari sudu pengarah air melewati sudu gerak. Pada sudu gerak (*Runner*) tidak terjadi perubahan tekanan dan kecepatan relatif fluida. Tetapi kecepatan absolut fluida berkurang ketika melewati *Runner*, karena fluida menumbuk dan menggerakkan sudu gerak yang selanjutnya memutar poros turbin, yang juga merupakan poros sudu gerak. Disini terjadi perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik. Turbin francis merubah energi fluida menjadi kerja yang berupa putaran pada poros turbin.

Perubahan atau energi fluida sebelum masuk turbin dan sesudah keluar dari turbin disebut sebagai *Head Drop*. *Head* fluida adalah total energi yang dimiliki oleh fluida tiap satu satuan berat, terdiri dari energi potensial, energi tekanan dan energi kinetik. Perubahan energi pada turbin air Francis secara garis besar adalah dari energi potensial menjadi energi tekanan sebelum masuk *Guide Vane*, kemudian menjadi energi kinetik setelah keluar dari *Guide Vane* dan selanjutnya menjadi energi mekanik pada poros turbin yang dikelilingi oleh sudu gerak.

Energi potensial (E_p) adalah energi yang tersimpan pada benda karena kedudukannya/ketinggiannya. Sebagai contoh, energi potensial air adalah energi yang dimiliki air karena ketinggian dari permukaan referensi.

$$E_p = m \cdot g \cdot h \dots\dots\dots (2.1)$$

Energi kinetik (E_k) adalah energi suatu benda karena bergerak dengan kecepatan V , contohnya air yang bergerak.

$$E_k = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

Energi mekanik (E_m) adalah penjumlahan dari energi kinetik dengan energi potensial.

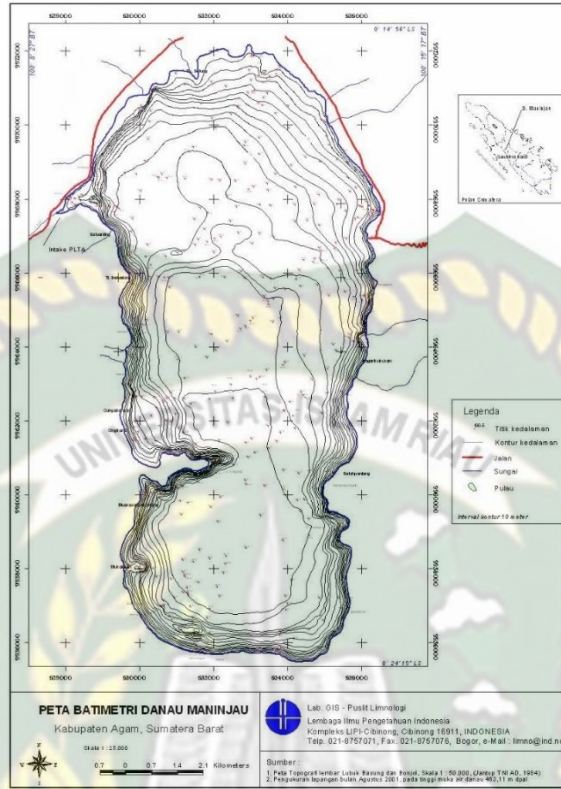
$$E_m = E_k + E_p \dots\dots\dots (2.3)$$

2.2 Tinggi Muka Air Di Danau Maninjau

2.2.1 Danau Maninjau

Danau Maninjau yang terletak di Kecamatan Tanjung Raya, Kabupaten Agam, Sumatra Barat merupakan kebanggaan masyarakat dan sekaligus mempunyai peran yang sangat penting bagi kehidupan sehari-hari. Danau ini mempunyai fungsi tiga macam, yaitu pertama fungsi ekologi, antara lain merupakan habitat bagi organisme, mengontrol keseimbangan air tanah, dan mengontrol iklim mikro. Fungsi kedua adalah sosial, antara lain tempat masyarakat untuk mandi cuci kakus, dan memberikan pemandangan yang indah. Fungsi yang ketiga adalah ekonomi, antara lain sumber air untuk irigasi, perikanan baik budidaya ikan dengan keramba apung maupun dengan menangkap di perairan danau, daya tarik pariwisata lokal maupun pariwisata internasional, dan fungsi ekonomi yang paling besar adalah sebagai pembangkit tenaga listrik yang menghasilkan energi rata-rata tahunan sebesar 205 GWH. Fungsi-fungsi inilah yang merupakan latar belakang mengapa Danau Maninjau perlu dilestarikan. Keberadaan air di danau tidak terlepas dari apa yang disebut dengan siklus hidrologi, air yang masuk ke Danau Maninjau bersumber dari curah hujan yang langsung masuk ke danau, air yang berasal dari aliran permukaan tanah, baik yang melewati sungai-sungai kecil maupun dari lahan dipinggiran danau, dan dapat berasal pula dari aliran bawah permukaan tanah (*interflow*) dan aliran air tanah (*groundwater flow*). Sedangkan air yang keluar danau selain berasal dari saluran pengambilan air (*intake*) PLTA dan bendung atau weir, dapat berupa evaporasi dari permukaan air danau, maupun aliran air tanah. (M. Fakhruddin, dkk, 2002)

2.2.2 Morfometri Danau



Gambar 2.7 Peta Batimetri Danau Maninjau
(sumber : Fakhruddin, M., dkk, 2002)

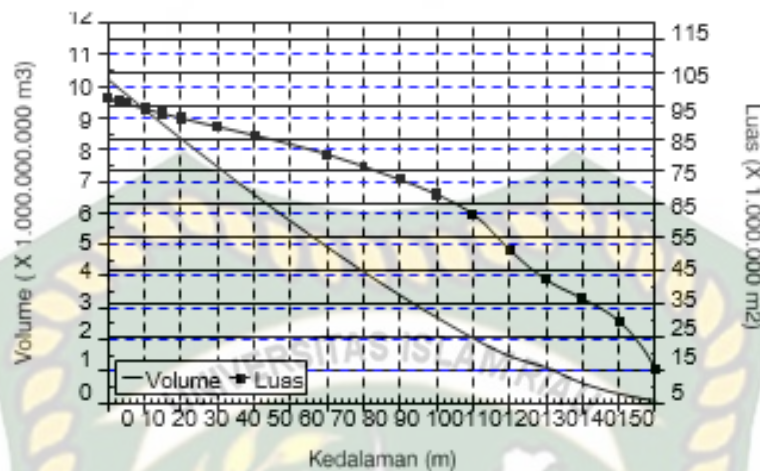
Berdasarkan analisis dari Peta Batimetri Danau Maninjau (Gambar 3.10) menunjukkan morfometri danau sebagai berikut (Tabel 2.1):

Tabel 2.1 Morfometri Danau Maninjau

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1	Luas permukaan air	ha	9.737,50
2	Panjang maksimum	km	16,46
3	Lebar maksimum	km	7,50
4	Kedalaman maksimum	m	168,00
5	Kedalaman rata-rata	m	105,02
6	Panjang garis pantai	km	52,68
7	<i>Shore line development</i>	km/km ²	1,51
8	Volume air	m ³	10.226.001.629,20

Hubungan antara kedalaman danau dengan luas permukaan air dan volume air ditunjukkan pada Gambar 3.11. Berdasarkan gambar tersebut menunjukkan bahwa pada kedalaman 0 sampai 100 m menunjukkan penurunan

luas permukaan air yang relatif kecil, tetapi kedalaman 100 sampai dasar terjadi penurunan luas permukaan yang tajam.



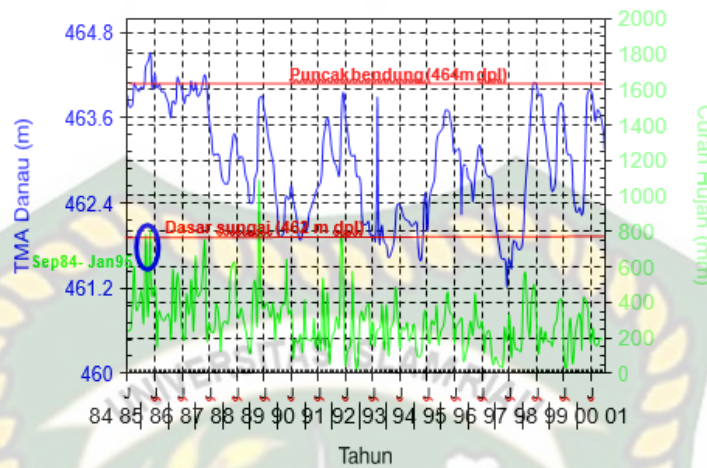
Gambar 2.8 Hubungan antara kedalaman dengan luas permukaan dan volume air Danau Maninjau
 (sumber : Fakhruddin, M., dkk, 2002)

2.2.3 Tinggi Muka Air Pada Danau Maninjau

Tinggi muka air danau berdasarkan data antara tahun 1984 -2001 atau setelah dibangun PLTA menunjukkan bahwa tinggi muka air danau pada umumnya kurang dari 464 m dari permukaan air laut, atau dengan kata lain air danau tidak melimpah melalui bendung. Tetapi pada akhir tahun 1984 tinggi muka air danau diatas 464 m, berarti terjadi pelimpahan air danau melalui bendung (Gambar 8). Hal ini disebabkan karena pada waktu itu terjadi hujan dengan tebal yang sangat tinggi yaitu sebesar 811 mm pada bulan Nopember dan pada bulan-bulan sebelumnya curah hujan sudah besar sehingga tanah jenuh dengan air hujan.

Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan bahwa fluktuasi tinggi muka air danau mempunyai pola yang sejalan dengan pola curah hujan, hal ini mempunyai arti bahwa walaupun air danau mempunyai volume yang sangat besar tetapi curah hujan yang jatuh di danau atau di catchment area mempunyai kontribusi yang cukup besar. Jadi komponen yang terkait dengan aliran permukaan (*surface runoff*) mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kuantitas maupun kualitas air Danau Maninjau. Dimasa yang akan datang proses air hujan menjadi aliran permukaan yang terjadi di daerah tangkapan (*catchment area*) danau

perlu dikaji lebih mendalam lagi, dan juga dikaitkan dengan perkembangan daerah Maninjau menjadi objek pariwisata.



Gambar 2.9 Fluktuasi Tinggi Muka Air Danau
 (sumber : Fakhruddin, M., dkk, 2002)

2.3 Unjuk Kerja Turbin Air

2.3.1. Kecepatan Aliran

Orifis dapat digunakan untuk mengukur laju aliran yang keluar dari suatu resevoir atau yang melalui sebuah pipa. Orifis adalah suatu lubang yang berfungsi sebagai tempat fluida mengalir (Antonius G Martanto, 1995). Tinggi tekan penstok di orifis diukur dari titik pusat orifis sampai permukaan bebas. Koefisien kecepatan diasumsikan konstan. Laju aliran dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$v = Cv\sqrt{2gh} \dots\dots\dots (2.5)$$

- Dimana :
- g = percepatan gravitasi (m/s²)
 - h = tinggi tekan penstok (m)
 - Cv = Koefisien kecepatan

2.3.2. Debit

Debit merupakan jumlah air yang mengalir melalui suatu penampang tertentu per satuan waktu, dinyatakan dengan persamaan:

$$Q = V \times A \dots\dots\dots (2.6)$$

- Dimana :
- V = kecepatan aliran (m / s)
 - A = Luas Penampang Pipa Pesat (m²)

Namun pada perhitungan debit (*Turbine discharge*) di PLTA sudah memakai alat ukur dengan persamaan:

$$Q = \frac{P \times 1.000.000}{\rho \times g \times \text{net head} \times \text{effisiensi turbin}} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.3.3. Rugi Hidrolisis

Terjadi dua macam kehilangan energi pada saluran tertutup (*Penstock*), yaitu *Major Losses* dan *Minor Losses*. *Major Losses* adalah kehilangan energi yang timbul akibat gesekan dengan dinding pipa. Sedangkan *Minor Losses* diakibatkan oleh tumbukan dan turbulensi, misal terjadi pada saat melewati kisi- kisi (*Trashrack*), perubahan penampang, belokan dan lain-lain. Rugi-rugi hidrolisis dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$H_{losses} = H_{mayor} + H_{minor} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.3.4. *Minor Losses*.

Rugi Minor adalah rugi yang disebabkan gangguan lokal seperti pada perubahan penampang, adanya katup, belokan elbow dan lainnya menyebabkan efek turbulensi. Efek turbulensi Terdapat beberapa koefisien yang berbeda untuk menghitung efek turbulensi dari *Penstock*. Misalnya, koefisien entrance penstock dan koefisien katup.

Kerugian turbulensi dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$H_e = (K_{\text{entrance}} + K_{\text{valve}} + 3K_b) \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana : K_b = koefisien belokan

Sebelum kita mencari minor losses kita akan mencari koefisien belokan bisa kita lihat pada tabel 2.2 dibawah ini :

Tabel 2.2 Tabel Sudut Terhadap Koefisien Belokan.

α	20°	40°	51°	60°	80°	90°
K_b	0,05	0,14	0,261	0,36	0,74	0,98

(Sumber : Patty, 1995)

2.3.5. Mayor Losses.

Mayor Losses adalah rugi-rugi di sepanjang aliran pipa. Dapat dicari menggunakan persamaan :

$$H_m = f_f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana : H_m = Rugi Mayor (m)

f_f = Friction Factor

L = Panjang pipa (m)

v = Kecepatan aliran (m/s)

D = Diameter pipa (m)

2.3.6. Bilangan Reynold (Re)

Tujuan mencari bilangan reynold pada sebuah aliran yaitu untuk mengetahui jenis aliran pada fluida, dimana $Re \leq 2000$ maka jenis alirannya laminar dan sebaliknya jika $Re \geq 4000$ jenis alirannya turbulen. Untuk mencari nilai reynold didapat menggunakan persamaan dibawah.

$$Re = \frac{v \times d}{\nu} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana : Re = Reynold number

V = Kecepatan aliran (m/s)

ν = Viskositas kinematik air (m^2/s)

D = Diameter pipa (m)

Setelah mendapatkan bilangan Reynold maka kita dapat menentukan jenis-jenis aliran apakah aliran tersebut :

1. Aliran laminar

Aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan – lapisan, atau lamina – lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar . Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan.

2. Aliran turbulen

Aliran dimana pergerakan dari partikel – partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran

turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian – kerugian aliran.

3. Aliran transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen.

2.3.7. Friction Factor

Friction factor (Faktor gesekan) , dinamai setelah John Thomas Fanning , adalah angka tanpa dimensi yang digunakan sebagai parameter lokal dalam perhitungan mekanika kontinum. Stuart W. Churchill mengembangkan formula yang mencakup faktor gesekan untuk aliran laminar dan turbulen. Ini awalnya diproduksi untuk menggambarkan grafik Moody , yang memplot faktor Gesekan *Darcy-Weisbach* terhadap bilangan Reynolds. Formula *Darcy Weisbach* , juga disebut faktor gesekan Moody, adalah 4 kali faktor gesekan Fanning f dan jadi faktor $\frac{1}{4}$ telah diterapkan untuk menghasilkan formula yang diberikan di bawah ini.

$$\text{Relative Roughness} = \frac{\varepsilon}{D} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana : ε = Kekasaran permukaan pipa (mm)
 D = Diameter pipa (mm)

2.3.8. Net Head (h)

Net Head merupakan selisih antara tinggi permukaan air waduk dengan tinggi air *Tailrace* dan Rugi Hidrolis. *Net Head* dapat ditentukan dengan persamaan:

$$h = \text{HWL} - \text{TWL} - \frac{v^2}{2g} - \text{Hlosses} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana : HWL = Ketinggian elevasi air (m)
 TWL = Elevasi Tail Race (m)
 Hlosses = Rugi hidrolisis (m)
 G = Percepatan gravitasi (m/s^2)

2.3.9. Kecepatan Spesifik (Ns)

Bila tinggi terjun efektif H (m) dan jenis turbin diberikan, maka kecepatan spesifik (*Revolving Speed*) dapat ditentukan. menggunakan persamaan :

$$Ns = \frac{2419}{h^{0,489}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana : Ns = Kecepatan spesifik (kW)
 h = *Net Head* (m)

2.3.10. Daya Output (P)

Daya Output pada Turbin Francis

$$P^{0.5} = \frac{Ns \cdot h^{1.25}}{n} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana : P = Daya Output (watt)

Ns = Kecepatan Spesifik (kW)

h = Net Head (m)

n = jumlah unit

2.3.11. Efisiensi turbin (η_{th})

Efisiensi turbin merupakan perbandingan antara daya yang dapat dihasilkan turbin dengan daya yang diberikan pada turbin. Efisiensi Turbin dapat di hitung dengan persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{P_{out}}{\rho \times g \times Q \times H} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana : P = Daya Output (watt)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

Q = Debit aliran (m³/s)

H = head loss (m)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat penelitian

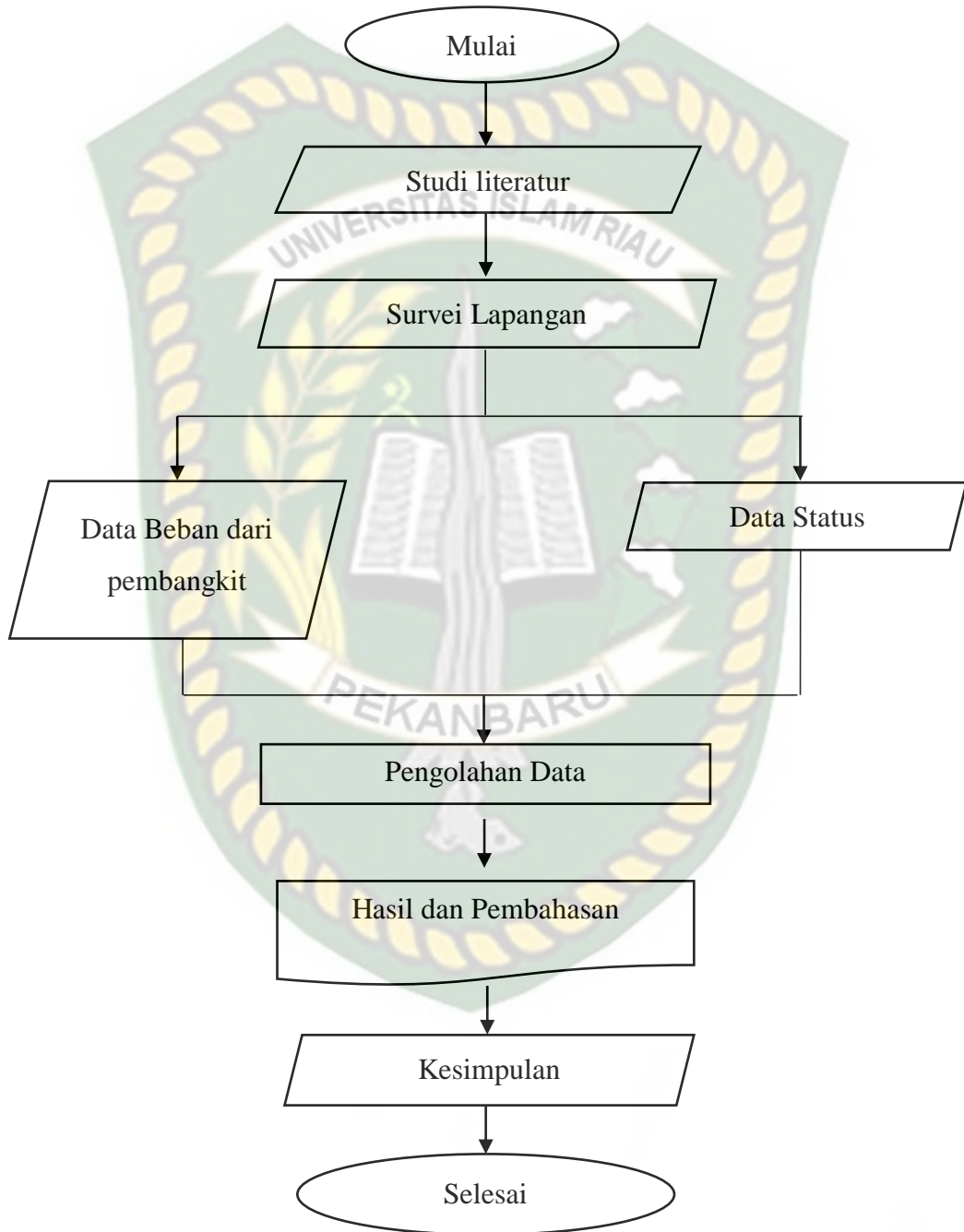
Penelitian analisa pengaruh perbedaan tinggi muka air danau terhadap unjuk kerja turbin air di laksanakan di PT PLN (Persero) Unit Induk Pembangkitan Sumbagsel Sektor Pelaksana Pembangkitan Bukittinggi Unit PLTA Maninjau. Dan pengujian dilaksanakan di Jl. Raya Lubuk Basung – Maninjau, KM 8 Lubuk Sao – Sumatera Barat, Indonesia.



Gambar 3.1 Power House PLTA Maninjau

3.2 Diagram Alir Penelitian.

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan proses. Mulai dari proses studi literatur, pencarian kasus hingga penyelesaian kasus tersebut. Keseluruhan proses saling terkait agar tujuan program seperti yang telah ditetapkan dapat tercapai. Rangkaian proses yang dilakukan dapat dilihat pada diagram berikut :



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir.

3.3 Alat dan Bahan

Dalam penelitian analisa pengaruh tinggi muka air danau terhadap unjuk kerja turbin air menggunakan beberapa alat dan bahan untuk mendukung proses pengujian.

Alat dan bahan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Alat.
 - a. Turbin Air.

Spesifikasi turbin air PLTA Maninjau adalah sebagai berikut :

Tipe : *Vertical Francis-1RS*

Net Head

- Maksimal : 234,7 m
- Normal : 226,0 m
- Minimal : 210,1 m

Output : 17.500 KW

Putaran Rata-rata : 600 rpm

Putaran maksimal : 1020 rpm



Gambar 3.3 Spesifikasi Turbin Air

- b. Alat pengukur tinggi muka air danau.

Alat pengukur tinggi muka air danau digunakan untuk mengukur ketinggian air yang ada di danau maninjau.



Gambar 3.4 Alat Ukur Tinggi Muka Air

- c. *Flowmeter*.

Flowmeter adalah suatu alat yang digunakan untuk mengukur volume air yang mengalir didalam pipa dalam satu satuan waktu, flowmeter yang digunakan pada PLTA maninjau menggunakan satuan internasional yaitu m^3/s .



Gambar 3.5 Flowmeter

- d. *Tachometer*.

Tachometer adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur putaran mesin, pada PLTA maninjau biasanya kita menggunakan tachometer untuk

mengukur putaran rotor yang terhubung dari turbin ke generator dalam satuan waktu.



Gambar 3.6 Tachometer

e. *Pressure Gauge.*

Merupakan alat ukur tekanan dengan referensi 0 terhadap tekanan ruang. Sementara *absolute pressure* menggunakan referensi 0 terhadap tekanan vacum sehingga tekanannya sama dengan tekanan gauge ditambah dengan tekanan atmosfer, pada PLTA Maninjau *pressure gauge* ini digunakan untuk mengukur tekanan yang ada pada pipa pesat.



Gambar 3.7 *Pressure Gauge* Pada Penstock

2. Bahan.

Dalam analisa pengaruh perbedaan tinggi muka air danau terhadap unjuk kerja turbin air ini menggunakan air sebagai fluida kerjanya yang mengalir melalui pipa pesat dan memutar sudu-sudu turbin. Air yang digunakan adalah air yang ada didanau Maninjau. Danau maninjau memiliki energi potesial yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus (2.1).

Dimana :

$$m = 10226001629200 \text{ kg} = 10226001,6292 \text{ Gg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}$$

$$h = 105,02 \text{ m}$$

jadi energi potensial danau maninjau yaitu sebesar :

$$\begin{aligned} E_p &= m \times g \times h \\ &= 10226001,6292 \times 9,81 \times 105,02 \\ &= 10533292978,157 \text{ Gg m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

3.4 Prosedur Pengujian.

Adapun prosedur pelaksanaan pengujian tugas akhir dengan topik “analisa pengaruh tinggi muka air danau terhadap unjuk kerja turbin air” yaitu sebagai berikut :

1. Pada tinggi muka air 464 mdpl.

Ketika air sudah mencapai ketinggian 464 mdpl pintu air yang berada diintake terbuka sehingga air mengalir melalui terowongan pesat hingga ke inlet valve, inlet valve akan terbuka hingga memutar turbin air dengan kecepatan 600 rpm

2. Pada tinggi muka air 463,50 mdpl.

Ketika air sudah mencapai ketinggian 463,50 mdpl pintu air yang berada diintake terbuka sehingga air mengalir melalui terowongan pesat hingga ke inlet valve inlet valve akan terbuka hingga memutar turbin air dengan kecepatan 600 rpm.

3. Pada tinggi muka air 463,00 mdpl.

Ketika air sudah mencapai ketinggian 463,00 mdpl pintu air yang berada diintake terbuka sehingga air mengalir melalui terowongan pesat hingga ke inlet valve inlet valve akan terbuka hingga memutar turbin air dengan kecepatan 600 rpm.

4. Pada tinggi muka air 462,50 mdpl.

Ketika air sudah mencapai ketinggian 462,50 mdpl pintu air yang berada diintake terbuka sehingga air mengalir melalui terowongan pesat hingga ke inlet valve inlet valve akan terbuka hingga memutar turbin air dengan kecepatan 600 rpm.

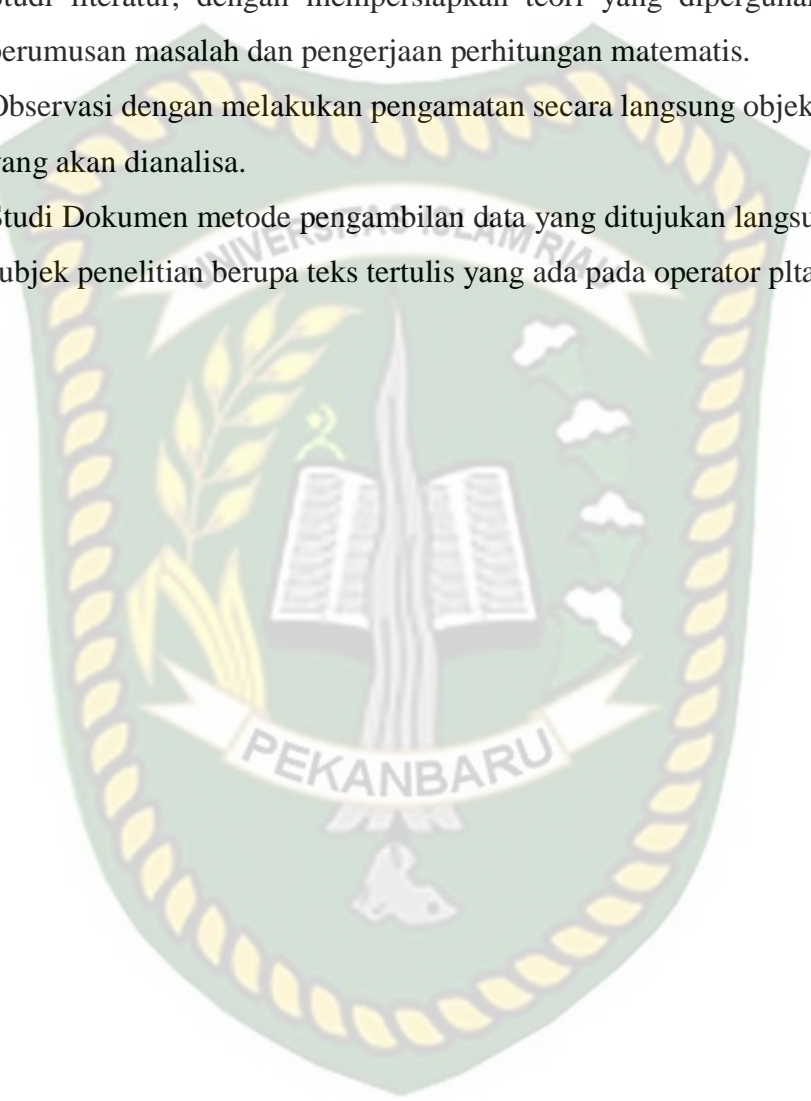
5. Pada tinggi muka air 462, mdpl.

Ketika air sudah mencapai ketinggian 462 mdpl pintu air yang berada diintake terbuka sehingga air mengalir melalui terowongan pesat hingga ke inlet valve, inlet valve akan terbuka hingga memutar turbin air dengan kecepatan 600 rpm.

3.5 Metode Pengambilan Data

Berikut adalah metode pengambilan data yang dilakukan selama penelitian tugas akhir di Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) Maninjau guna penyusunan hasil penelitian adalah:

1. Studi literatur, dengan mempersiapkan teori yang dipergunakan dalam perumusan masalah dan pengerjaan perhitungan matematis.
2. Observasi dengan melakukan pengamatan secara langsung objek penelitian yang akan dianalisa.
3. Studi Dokumen metode pengambilan data yang ditujukan langsung kepada subjek penelitian berupa teks tertulis yang ada pada operator plta.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh tinggi muka air danau terhadap unjuk kerja turbin air dengan bukaan guide vane yang sama serta putaran turbin yang stabil berada di 600 rpm, penelitian ini menghasilkan data-data berupa angka, tabel, serta grafik secara teoritis.

4.1 Hubungan Tinggi Muka Air Danau Terhadap Kecepatan Aliran

Untuk mendapatkan pengaruh tinggi muka air danau terhadap kecepatan aliran dengan melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus 2.5 dibawah ini :

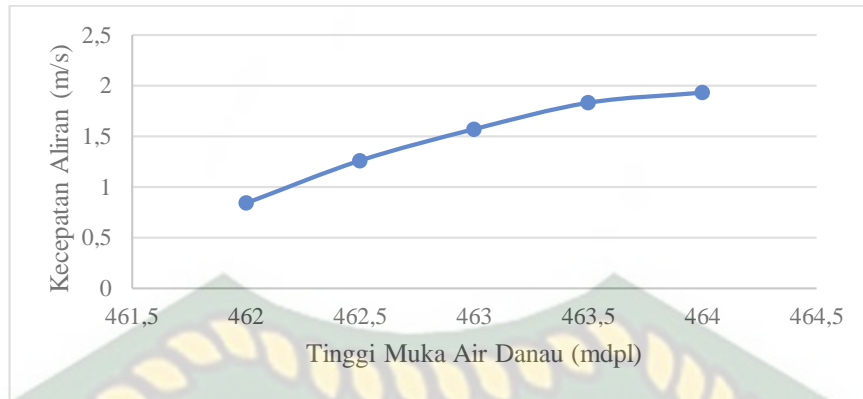
$$\text{Kecepatan aliran pada tinggi muka air danau 462,00 mdpl} \\ v = 0,6 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,1} = 0,8404 \text{ m/s}$$

Setelah melakukan perhitungan maka diperoleh tinggi muka air danau terendah dengan tinggi muka air danau 462 mdpl menghasilkan kecepatan aliran sebesar 0,84 m/s dan tinggi muka air danau tertinggi 464 mdpl menghasilkan kecepatan aliran sebesar 1,93 m/s . Dapat disimpulkan hasil perhitungan pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran Pada Pipa Pesat

No.	Tinggi muka air danau (mdpl)	Kecepatan aliran (m/s)
1.	462,00	0,84
2.	462,50	1,26
3.	463,00	1,57
4.	463,50	1,83
5.	464,00	1,93

Setelah dilakukannya perhitungan kecepatan aliran maka akan didapat diagram dibawah ini :



Gambar 4.1 Diagram Perbandingan Tinggi Muka Air Terhadap Kecepatan Aliran.

Dari gambar 4.1 diatas dapat dilihat bahwa semakin besar tinggi muka air danau maka semakin besar pula kecepatan aliran. Hal tersebut terjadi karena semakin besar tinggi muka air maka makin besar *head* di penstock. Semakin besar *head* penstock maka semakin besar pula kecepatan aliran air yang ada didalam penstock.

4.2 Hubungan Tinggi Muka Air Danau Terhadap Debit Air.

Untuk mendapatkan pengaruh tinggi muka air danau terhadap debit aliran dengan melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus 2.6 dibawah ini :

Debit air pada tinggi muka air danau 462,00 mdpl

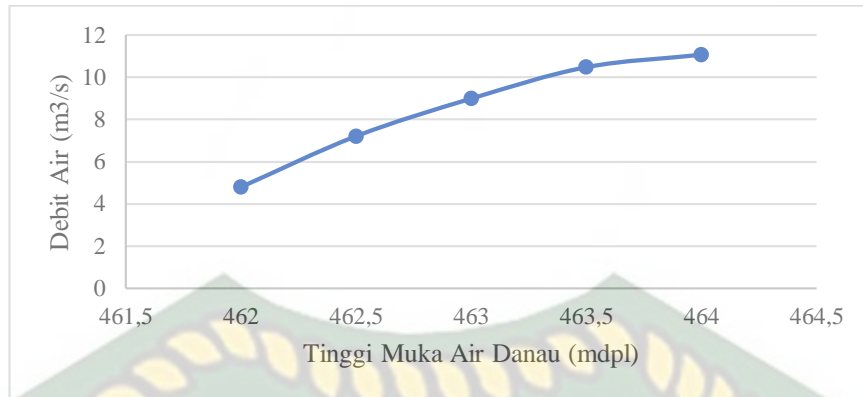
$$Q = 0,84 \times 5,72 = 4,8072 \text{ m}^3/\text{s}$$

Setelah melakukan perhitungan maka diperoleh tinggi muka air danau terendah dengan tinggi muka air danau 462 mdpl menghasilkan debit air sebesar $4,8 \text{ m}^3/\text{s}$ sedangkan tinggi muka air tertinggi pada 464 mdpl menghasilkan debit air sebesar $11,07 \text{ m}^3/\text{s}$, Dapat disimpulkan hasil perhitungan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Debit Air Pada Pipa Pesat

No.	Tinggi muka air danau (mdpl)	Debit air (m^3/s)
1.	462,00	4,8
2.	462,50	7,21
3.	463,00	8,99
4.	463,50	10,48
5.	464,00	11,07

Setelah dilakukannya perhitungan debit air maka akan didapat diagram dibawah ini :



Gambar 4.2 Diagram Perbandingan Tinggi Muka Air Danau Terhadap Debit Air.

Dari gambar 4.2 diatas dapat dilihat bahwa semakin besar tinggi muka air danau maka semakin besar pula debit air. Hal tersebut terjadi karena semakin tinggi muka air danau maka semakin besar kecepatan aliran pada penstock. Semakin besar kecepatan aliran pada penstock maka semakin besar pula debit air yang masuk menuju ruang turbin.

4.3 Hubungan Tinggi Muka Air Danau Terhadap Rugi Hidrolisis.

Untuk mendapatkan pengaruh tinggi muka air danau terhadap rugi hidrolisis dengan melakukan perhitungan *minor losses* (2.9) dan *major losses* (2.10) dibawah ini :

A. Perhitungan *major losses*

Major losses pada tinggi muka air danau 462,00 mdpl

$$hm = 0,0154 \times \frac{395,6}{2,7} \times \frac{0,84^2}{2 \times 9,81} = 0,08123 \text{ m}$$

B. Perhitungan *minor losses*

Minor losses pada tinggi muka air danau 462,00 mdpl

$$he = (0,05 + 0,1 \times (3 \times 0,36)) \times \frac{0,8404}{2 \times 9,81} = 0,044 \text{ m}$$

Setelah mendapatkan *major losses* dan *minor losses* maka kita dapat menghitung rugi hidrolisisnya dengan menggunakan rumus 2.8

Rugi hidrolisis pada tinggi muka air danau 462,00 mdpl

$$H = 0,0812 + 0,044 = 0,1255 \text{ m}$$

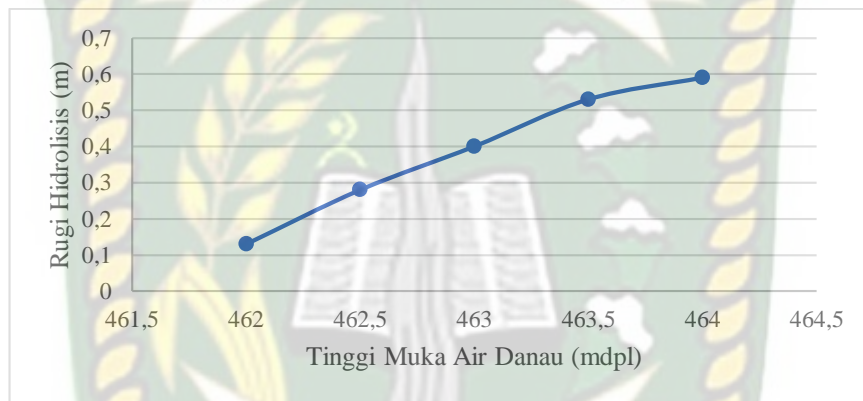
Dapat dilihat dari perhitungan maka akan di dapatkan tinggi muka air danau pada 462 mdpl akan didapat rugi hidrolisis sebesar 0,13 m, sedangkan pada tinggi

muka air 464 mdpl akan didapat rugi hidrolisis 0,59 m, untuk lebih jelas nya bisa dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Rugi Aliran Hidrolisis Pada Pipa Pesat.

No.	Tinggi muka air danau (mdpl)	Rugi Hidrolisis (m)
1.	462,00	0,13
2.	462,50	0,28
3.	463,00	0,40
4.	463,50	0,53
5.	464,00	0,59

Setelah dilakukannya perhitungan rugi hidrolisis maka akan didapat diagram dibawah ini :



Gambar 4.3 Diagram Perbandingan Tinggi Muka Air Terhadap Rugi Aliran Hidrolisis.

Dari gambar 4.3 diatas bisa dilihat semakin besar tinggi muka air danau maka semakin besar pula rugi aliran hidrolisisnya, hal tersebut terjadi karena semakin besar tinggi muka air maka semakin besar juga mayor losses dan juga minor lossis. Semakin besar mayor dan minor losses maka semakin besar juga rugi-rugi hidrolisisnya.

4.4 Hubungan Tinggi Muka Air Danau Terhadap *Net Head*.

Untuk mendapatkan pengaruh tinggi muka air danau terhadap *net head* dengan melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus 2.13 dibawah ini :

Net head pada tinggi muka air danau 462,00 mdpl

$$h = 462,00 - 227,82 - \frac{0,84^2}{2 \times 9,81} - 0,125 = 234,02 \text{ m}$$

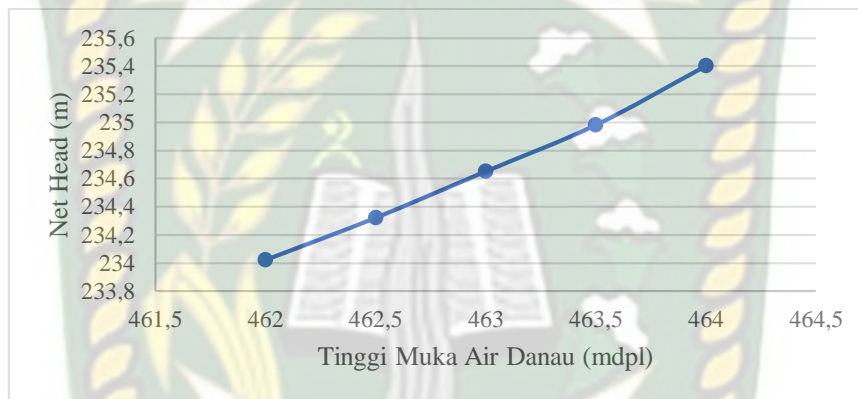
setelah melakukan perhitungan maka akan di dapatkan tinggi muka air danau pada 462 mdpl akan didapat *net head* sebesar 234,02 m, sedangkan pada tinggi

muka air 464 mdpl akan didapat *net head* sebesar 235,40 m, untuk lebih jelas nya bisa dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Tabel Hasil Perhitungan *Net Head*.

No.	Tinggi muka air danau (mdpl)	Net Head (m)
1.	462,00	234,02
2.	462,50	234,32
3.	463,00	234,65
4.	463,50	234,98
5.	464,00	235,40

Setelah dilakukannya perhitungan *Net Head* maka akan didapat diagram dibawah ini :



Gambar 4.4 Diagram Perbandingan Tinggi Muka Air Terhadap *Net Head*

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin besar tinggi muka air danau maka semakin besar pula *nethead*nya itu terjadi karena naiknya tinggi muka air danau mempengaruhi rugi hidrolisis yang juga semakin besar. Semakin besar rugi hidrolisis maka semakin besar pula *net head*nya.

4.5 Hubungan Tinggi Muka Air Danau Terhadap Kecepatan Spesifik.

Untuk mendapatkan pengaruh tinggi muka air danau terhadap kecepatan spesifik dengan melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus 2.14 dibawah ini :

$$N_s = \frac{2419}{234,02^{0,489}} = 167,91 \text{ kW}$$

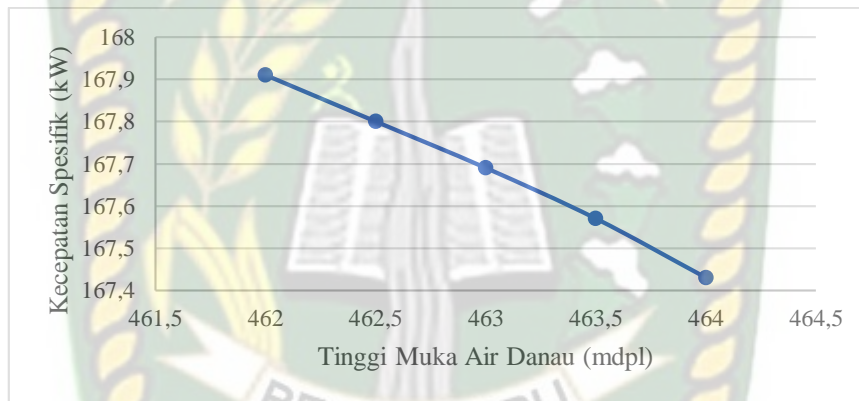
Setelah melakukan perhitungan maka akan di dapatkan tinggi muka air danau pada 462 mdpl akan didapat kecepatan spesifik sebesar 167,91 m, sedangkan pada

tinggi muka air 464 mdpl akan didapat kecepatan spesifik sebesar 167,43 m, semakin besar tinggi muka air maka semakin kecil kecepatan spesifiknya, dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Tabel Hasil Perhitungan Kecepatan Spesifik.

No.	Tinggi muka air danau (mdpl)	Kecepatan Spesifik (Kw)
1.	462,00	167,91
2.	462,50	167,80
3.	463,00	167,69
4.	463,50	167,57
5.	464,00	167,43

Setelah dilakukannya perhitungan kecepatan spesifik maka akan didapat diagram dibawah ini :



Gambar 4.5 Diagram Perbandingan Tinggi Muka Air Terhadap Kecepatan Spesifik Turbin.

Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa semakin besar tinggi muka air danau maka semakin kecil kecepatan spesifik turbin air, hal tersebut terjadi karena naiknya tinggi muka air mempengaruhi besarnya nethead. Semakin besar netheadnya maka kecepatan spesifik turbin akan turun.

4.6 Hubungan Tinggi Muka Air Danau Terhadap Daya Output Turbin Air.

Untuk mendapatkan pengaruh tinggi muka air danau terhadap daya output turbin air dengan melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus 2.15 dibawah ini :

Daya output turbin air pada tinggi muka air danau 462,00 mdpl

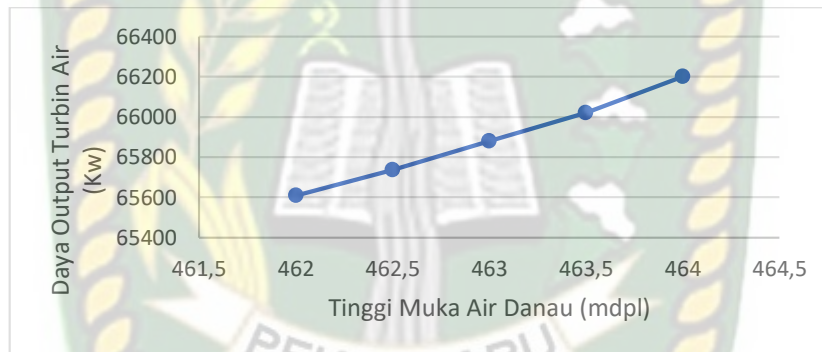
$$P^{0.5} = \frac{167,91 \cdot 234,02^{1.25}}{600} = 65609,69 \text{ kW}$$

Setelah melakukan perhitungan maka akan memperoleh hasil pada tinggi muka air danau pada 462 mdpl akan didapat daya *output* turbin sebesar sebesar 65609,69kW, sedangkan pada tinggi muka air 464 mdpl akan didapat 66199,88 kW. Dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Pengaruh tinggi muka air terhadap daya *output* turbin Air.

No.	Tinggi muka air danau (mdpl)	Daya <i>Output</i> Turbin Air (Kw)
1.	462,00	65609,69
2.	462,50	65736,94
3.	463,00	65880,05
4.	463,50	66020,62
5.	464,00	66199,88

Setelah dilakukan perhitungan terhadap daya output turbin Air maka didapat diagram sebagai berikut :



Gambar 4.6 Diagram Perbandingan Tinggi Muka Air Terhadap daya output turbin.

Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa semakin besar tinggi muka air danau maka semakin besar juga daya output turbinnya. hal tersebut terjadi karena naiknya tinggi muka air akan mempengaruhi nethead dan kecepatan spesifiknya. Semakin besar net head maka semakin besar daya output dari turbin. Dan juga semakin rendah kecepatan spesifik maka semakin besar daya output turbin.

4.7 Hubungan Tinggi Muka Air Danau Terhadap Efisiensi Turbin Air.

Untuk mendapatkan pengaruh tinggi muka air danau terhadap efisiensi turbin air dengan melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus 2.15 dibawah ini :

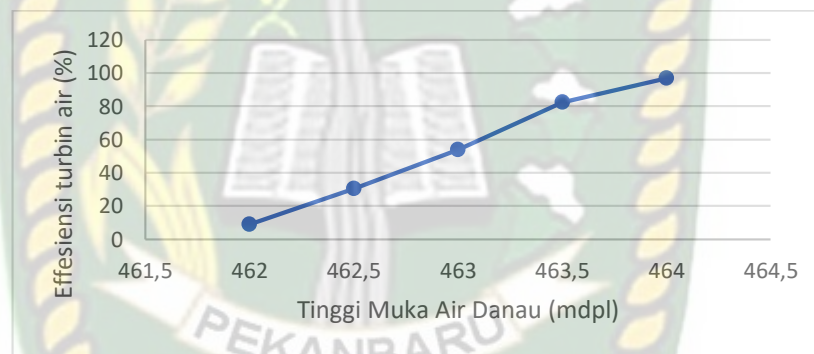
$$\eta_{th} = \frac{\text{Efisiensi turbin pada tinggi muka air danau 462,00 mdpl}}{1000 \times 9,81 \times 4,80 \times 0,125} = 0,0902 \times 100\% = 9,02\%$$

Setelah melakukan perhitungan maka tinggi muka air danau terendah dengan tinggi muka air danau 462 mdpl menghasilkan efisiensi sebesar 9,02% sedangkan tinggi muka air tertinggi pada 464 mdpl menghasilkan daya output sebesar 96,71% kW untuk lebih jelasnya kita bisa melihat pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Pengaruh tinggi muka air terhadap efisiensi turbin air

No.	Tinggi muka air danau (mdpl)	Efisiensi Turbin Air (%)
1.	462,00	9,02
2.	462,50	30,40
3.	463,00	53,88
4.	463,50	82,28
5.	464,00	96,71

Setelah dilakukan perhitungan terhadap daya output turbin Air maka didapat diagram sebagai berikut :



Gambar 4.7 Diagram Perbandingan Tinggi Muka Air Terhadap efisiensi turbin air.

Dari gambar 4.7 dapat dilihat bahwa semakin besar tinggi muka air danau maka semakin kecil efisiensinya. hal tersebut terjadi karena naiknya tinggi muka air akan mempengaruhi nethead dan kecepatan spesifiknya. Semakin besar net head maka semakin besar daya output dari turbin. Dan juga semakin rendah kecepatan spesifik maka semakin besar daya output turbin, semakin besar daya output maka semakin rendah efisiensinya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tinggi muka air danau mempengaruhi unjuk kerja dari turbin air, dimana semakin besar tinggi muka air danau maka unjuk kerja turbin juga akan semakin baik.
2. Unjuk kerja turbin air yang terbaik terdapat pada tinggi muka air danau 464 mdpl dimana diperoleh kecepatan aliran terbesar $1,93\text{ m/s}$, debit air terbesar $11,07\text{ m}^3/\text{s}$. Rugi hidrolisis terbesar 0,59 m. Nethead terbesar 235,40 m. Daya output turbin terbesar 64025,20 kW serta efisiensi terbesar 96,71%.

5.2. Saran.

Berdasarkan penelitian diatas adapun saran yang di peroleh adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan variasi bukaan guide vane yang berbeda.
2. Untuk penelitian berikutnya di PLTA Maninjau perlu menghitung kavitasi yang ada di aliran air PLTA Maninjau.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan putaran maksimal pada turbin air di PLTA Maninjau.

DAFTAR PUSTAKA

- Basori, dkk., 2016, “*Analisis Unjuk Kerja Turbin Air Pada Pusat Listrik Tenaga Air (Plta) Dengan Kapasitas 70 Mw*”. Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur UNJ, 3(57) 1-4
- Bensari, “*Analisis Prestasi Turbin Francis Pada Plta Karebbe*”. Jurnal Universitas Muslim Indonesia : 1-7
- Biranda, Alfakhri., 2019, “*Analisa Performa Water Turbine Tipe VF-1RS Terhadap Debit Air Dan Ketinggian Elevasi Di Plta Maninjau*”. Jurnal Laporan Kerja Praktek, 1-51
- Churchill, SW., 1977, “*Persamaan faktor gesekan meliputi semua rezim aliran fluida*”. Teknik kimia . 84 (24): 91–92.
- Fakhrudin, M., dkk, 2002, “*Karakterisasi Hidrologi Danau Maninjau Sumbar*”. Pusat Penelitian Limnologi Lipi : 65-75
- Ferdiana, Reza., 2016, “*analisis unjuk kerja turbin air pada pusat listrik tenaga air (plta) dengan kapasitas 70 Mw*” Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ, 3(1): 1- 4
- Himran, Syukri., 2018, “*Turbin Air: Teori dan Dasar Perencanaan*”. Yogyakarta: Andi Publiser.
- <https://media.neliti.com/media/publications/269636-analisis-head-losses-pada-penstock-unit-7790a8d1.pdf>
- Irawansyah, hery., 2017 “*diktat kuliah mesin konversi energi*”, banjarmasin : universitas lambung mangkurat
- Kusnadi, dkk., 2018, “*Rancang Bangun Dan Uji Performansi Turbin Air Jenis Kaplan Skala Mikrohidro*”. Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro,7(1):1-7
- Muis, Abdul., 2010. “*Turbin Air Pada PLTA Larona*”. Jurnal Untad, 7(1): 61-69

Muliawan, A., & Yani, A., 2016. “*Analisis Daya dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran Runner*”. *Jurnal Of Sainstek*,8(1): 1-9

Tipler, Paul A., 1998. “*Fisika*”. Alih bahasa, Lea Prasetio, Rahmad W Adi. Jakarta: Erlangga

Wikipedia. *Faktor gesekan mengipasi*,
https://translate.google.com/translate?hl=id&sl=en&u=https://en.wikipedia.org/wiki/Fanning_friction_factor&prev=search

Zain, Mhd Ajuar., 2019. “*Simulasi Perancangan pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydromenggunakan Mini Waterpump*” *jurnal universitas muhammadiyah sumatra utara*.