



**PERENCANAAN PENAMBAHAN KAPASITAS PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA MIKROHIDRO AKIBAT PENINGKATAN JUMLAH
KONSUMEN DI DESA POLA TEBU KABUPATEN KARO**

**Disusun dan diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menempuh Ujian
Akhir Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Sains Dan
Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi**

SKRIPSI

OLEH

**NAMA : AGRIVA SURANTA SEBAYANG
NPM : 1824210222
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
PEMINATAN : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**

MEDAN

2020

**PERENCANAAN PENAMBAHAN KAPASITAS PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA MIKROHIDRO AKIBAT PENINGKATAN JUMLAH
KONSUMEN DI DESA POLA TEBU KABUPATEN KARO**

**Agriva Suranta Sebayang
Zuraidah Tharo
Siti Anisah**

Universitas Pembangunan Panca Budi

ABSTRAK

Perencanaan penambahan daya pada PLTMH Pola Tebu berlandaskan pada kebutuhan energi listrik masyarakat desa yang meningkat akibat bertambahnya jumlah konsumen. PLTMH ini terletak di Desa Pola Tebu, Kecamatan Kutabuluh, Kabupaten Karo dengan memanfaatkan aliran sungai Lau Simalem. Pada penelitian ini pengukuran debit air menggunakan metode pengukuran curah hujan DR.F.J.Mock dan pengukuran perbedaan tinggi jatuh air menggunakan alat GPS Garmin e-Trex. Dari pengukuran debit air dan tinggi jatuh air tersebut dipergunakan untuk menentukan desain perencanaan PLTMH meliputi dimensi pipa pesat (*penstock*), jenis turbin air, dimensi turbin air dan untuk menentukan kapasitas generator yang sesuai dengan desain perencanaan PLTMH. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa potensi daya yang dapat dibangkitkan pada PLTMH Pola Tebu secara teori adalah sebesar 1118 kW dengan debit air yang digunakan sebesar 1.0 m³/s dan ketinggian jatuh air bersih (*Head Nett*) 141,24 meter. Dari debit air dan tinggi jatuh air tersebut didapatkan desain pipa pesat dengan panjang 600 meter dan berdiameter 0,6 meter serta dimensi runner turbin pelton yang berdiameter 0,699 meter. Dari perhitungan daya terbangkitkan sebesar 1118 kW maka kapasitas generator sinkron yang digunakan sebesar 1250 kVA dengan sistem control beban menggunakan ELC.

Kata kunci: debit air, tinggi jatuh (*head*), PLTMH Desa Pola Tebu, pipa pesat, turbin pelton

* Mahasiswa Program studi Teknik Elektro : agrival7@gmail.com

** Dosen Program Studi Teknik Elektro

**PLANNING OF CAPACITY ADDITION OF MICROHIDRO POWER
PLANT DUE TO INCREASING THE NUMBER OF CONSUMERS
IN POLA TEBU VILLAGE, KARO DISTRICT**

**Agriva Suranta Sebayang
Zuraidah Tharo
Siti Anisah**

University of Pembangunan Panca Budi

ABSTRACT

Planning for additional power at PLTMH Sugarcane Pattern is based on the increased demand for electrical energy in rural communities due to the increasing number of consumers. This PLTMH is located in Pola Tebu Village, Kutabuluh District, Karo Regency by utilizing the Lau Simalem river flow. In this study, the measurement of water discharge using the DR.F.J.Mock rainfall measurement method and measuring the difference in the height of the water fall using a Garmin e-Trex GPS device. From the measurement of water discharge and water drop height, it is used to determine the MHP planning design including the dimensions of the rapid pipe (penstock), the type of water turbine, the dimensions of the water turbine and to determine the generator capacity according to the MHP planning design. The results of the calculation show that the potential power that can be generated in PLTMH Sugarcane Pattern is 1118 kW with the water discharge used is $1.0 \text{ m}^3 / \text{s}$ and the water fall height (Head Nett) is 141.24 meters. From the water discharge and the height of the water fall, a rapid pipe design with a length of 600 meters and a diameter of 0.6 meters is obtained and the dimensions of the pelton turbine runner are 0.699 meters in diameter. From the calculation of the generated power of 1118 kW, the capacity of the synchronous generator used is 1250 kVA with a load control system using ELC.

Keywords: Water discharge, Height of fall (*Head*), PLTMH Desa Pola Tebu, Rapid pipe, Pelton Turbine

* Students of Electrical Engineering Study Program: agriva17@gmail.com

** Lecturer in Electrical Engineering Study Program

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metode Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)	7
2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	8
2.3 Komponen-Komponen Pada PLTMH	12
2.3.1 Bendungan dan Bangunan Pengambilan (<i>Intake</i>)	13
2.3.2 Saluran Pembawa (<i>Headrace</i>)	13
2.3.3 Bak Penampungan (<i>Forebay</i>) dan Saringan	14
2.3.4 Saluran Pembuangan (<i>Spillway</i>)	15
2.3.5 Rumah Pembangkit (<i>Power House</i>)	15
2.3.6 Pipa Pesat (<i>Penstock</i>)	16
2.3.7 Turbin Air	21
2.3.8 Turbin Pelton	24
2.3.9 Prinsip Dasar Kerja Turbin Pelton	26
2.3.10 Komponen Utama Turbin Pelton	27
2.3.11 Generator	30
2.3.12 ELC (<i>Electronic Load Control</i>)	31
2.3.13 Jaringan Transmisi	33
2.3.14 Saluran Pembuangan (<i>Tailrace</i>)	33
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu	34
3.2 Metode Pengumpulan Data	34
3.2.1 Metode Observasi	34
3.2.2 Metode <i>Interview</i>	34
3.2.3 Metode Dokumentasi	35
3.2.4 Metode Tinjauan Pustaka dan <i>Literature</i>	35
3.3 Rancangan Penelitian	35

BAB 4 PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data	37
4.1.1 Data PLTMH Desa Pola Tebu	37
4.2 Analisa Data	37
4.2.1 Letak Geografis	37
4.2.2 Kependudukan.....	38
4.2.3 Analisa Topografi.....	38
4.2.4 Analisa Hidrologi	40
4.2.5 Iklim dan Curah Hujan	41
4.2.6 Analisa Debit Bulanan.....	43
4.2.7 Metode F.J. Mock.....	43
4.3 Analisa Perhitungan Data Perencanaan	48
4.3.1 Perhitungan Perencanaan Pipa Pesat	48
4.3.2 Perencanaan Pemilihan Turbin Air	53
4.3.3 Perhitungan Daya yang Dapat Dibagikan.....	58
4.3.4 Perbandingan Data Awal dan Data Perencanaan	59
4.3.5 Pemilihan Generator.....	60
4.3.6 Pemilihan Transmisi.....	60
4.3.7 Jaringan Transmisi dan Distribusi	60

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	62
5.2 Saran.....	63

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Teks	Hal.
2.1	Klasifikasi Hidro Power.....	8
2.2	Kecepatan Spesifik Turbin Konvensional.....	23
4.1	Data PLTMH Pola Tebu	37
4.2	Data Jumlah Penduduk Kecamatan Kutabuluh	38
4.3	Data Topografi.....	40
4.4	Data Curah Hujan Harian Stasiun Kuta Gadung Tahun 2019	42
4.5	Debit Andalan (Dependable Flow) Tahun 2019 Metode Dr.F.J. Mock ...	46
4.6	Rata-Rata Debit Andalan Tahun 2019 (<i>Dependable Flow</i>) Metode Dr.Fj.Mock	47
4.7	Rata-Rata Debit Andalan Pada Musim Kemarau	47
4.8	Rata-Rata Debit Andalan Pada Musim Penghujan.....	47
4.9	Kecepatan Spesifik Turbin	53
4.10	Perbandingan Data awal dan Data Perencanaan	59

DAFTAR GAMBAR

No.	Teks	Hal.
2.1	Skema Prinsip Kerja PLTMH	9
2.2	Diagram Alir Proses PLTMH.....	12
2.3	Potongan Rumah Pembangkit	15
2.4	Instalasi Pipa Pesat (<i>Penstock</i>).....	17
2.5	Grafik Pemilihan Tipe Turbin Air Berdasarkan Debit dan <i>Head</i>	24
2.6	Turbin Pelton.....	25
2.7	Dimensi dari Turbin Pelton.....	27
2.8	<i>Electronic Load Control</i> (ELC).....	31
2.9	<i>Ballast Load</i> berupa <i>Air Heater</i>	32
3.1	Diagram Alir Proses Penelitian	36
4.1	GPS <i>Hand e-Trex</i>	39
4.2	Grafik Perubahan Debit Air Terhadap Waktu.....	48
4.3	Potongan dari Pipa Pesat (<i>Penstock</i>)	49
4.4	Grafik Penentuan Jenis Turbin (<i>Ns</i> vs <i>Hnetto</i>).....	54
4.5	Grafik Pemilihan Turbin Berdasarkan Debit dan Tinggi Jatuh.....	55

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Krisis tenaga listrik di Sumatera Utara disebabkan tidak adanya keseimbangan antara persediaan dan permintaan. Keterbatasan tenaga listrik merupakan salah satu permasalahan yang multi kompleks terutama di Kabupaten Tanah Karo. Ketersediaan listrik saat ini belum optimal dan merata, hal ini disebabkan oleh desa terpencil yang cenderung tidak merata dan tersebar, sehingga pencapaian listrik oleh PLN sangat terbatas.

Pemanfaatan potensi energi baru dan terbarukan merupakan solusi yang tepat untuk mengatasi keterbatasan sumber energi konvensional, upaya ini sangat didukung pemerintah melalui Peraturan Presiden (Perpres) RI nomor 5/2006 tentang kebijakan Energi Nasional diamanatkan dalam Perpres tersebut bahwa peranan energi baru dan terbarukan, khususnya biomassa, nuklir, tenaga air, tenaga surya, dan tenaga angin harus menjadi lebih dari 5 % dari total konsumsi energi nasional pada tahun 2025.

Pada tahun 1989 Dinas Pertambangan dan Energi Sumatera Utara (dahulu disebut Kanwil Pertambangan dan Energi) telah membangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Desa Pola Tebu, Kecamatan Kutabuluh, Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara, dengan kapasitas pembangkit 40 kW, dan sampai saat ini keadaan listrik tetap menyala dan digunakan bagi kebutuhan aktivitas sehari-hari masyarakat. Baik untuk menunjang proses produksi di sektor ekonomi dan pendidikan juga untuk memenuhi tuntutan perkembangan sosial budaya

masyarakat seiring dengan kemajuan zaman dan tentu dengan penambahan jumlah penduduk selama kurun waktu 30 tahun telah bertambah dari 40 KK dahulunya sekarang telah mencapai 120 KK dan juga efisiensi pembangkit baik turbin dan generator selama kurun waktu tersebut menjadi turun. Oleh sebab itu, dalam penyelesaian skripsi ini dibuatlah *“Perencanaan Penambahan Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Akibat Peningkatan Jumlah konsumen Di Desa Pola Tebu Kabupaten Karo”*, untuk memberikan solusi ataupun jawaban atas permasalahan kelistrikan di Desa Pola Tebu.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah disampaikan, maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam skripsi sebagai berikut :

1. Bagaimana cara merencanakan penambahan kapasitas suatu PLTMH
2. Berapa besar potensi daya yang dapat terbangkitkan PLTMH Desa Pola Tebu

1.3 Batasan Masalah

Dalam perencanaan ini, terdapat beberapa batasan masalah, maka pembahasan pada skripsi ini akan dibatasi tentang:

1. Tidak membahas komponen-komponen sipil.
2. Perencanaan hanya meliputi mencari debit untuk Perencanaan PLTMH, perencanaan pipa pesat dan perencanaan turbin air.
3. Tidak merencanakan untuk pertumbuhan beban untuk 10 tahun ke deapan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pembuatan penelitian ini antara lain:

1. Untuk mengetahui seberapa besar potensi debit air Sungai Lau Simalem yang dapat dimanfaatkan untuk menambah kapasitas PLTMH Pola Tebu yang sudah ada.
2. Melakukan perencanaan untuk pipa pesat dan turbin air.
3. Untuk mengetahui seberapa besar daya listrik yang dapat terbangkitkan.
4. Untuk mengetahui bagaimana sistem dan komponen-komponen dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dalam penulisan skripsi ini adalah :

1. Bagi penyusun dapat menambah pengetahuan, pemahaman, dan keterampilan dalam mempelajari mengenai pembangkit listrik tenaga mikrohidro dan juga dapat memberikan rekomendasi bagi masyarakat desa untuk penambahan daya PLTMH Pola Tebu yang sudah ada.
2. Bagi mahasiswa dapat lebih mempermudah dalam mempelajari suatu pembangkitan listrik khususnya pembangkit listrik tenaga mikrohidro.
3. Bagi dunia pendidikan diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan pada bidang kelistrikan khususnya pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

1.6 Metode Penelitian

Dalam penyusunan penelitian ini penulis berusaha semaksimal mungkin untuk membahas dan menguraikan cara mengumpulkan data. Adapun metode-metode pengumpulan data yang diperlukan antara lain :

1. Metode Observasi

Metode ini merupakan metode yang langsung dengan mengadakan pengamatan data melakukan survei dilapangan serta melihat jenis perlengkapan pada alat ukur pengujian. Data yang diambil diantaranya:

- a. Debit air
- b. Ketinggian (*head*)
- c. Data curah hujan

2. Metode Interview

Merupakan metode pengumpulan data dengan mengadakan secara langsung tanya jawab kepada orang-orang yang berada disekitar lokasi, meliputi pemilik lokasi, warga desa, dinas terkait serta orang yang ahli dalam bidang mikrohidro.

3. Metode Dokumentasi

Yaitu mengumpulkan data-data penelitian meliputi foto-foto kegiatan, data pengukuran debit air sungai, tinggi jatuh (*head*), Keadaan topografi dan data-data lain yang dilakukan selama dalam penelitian.

4. Metode Studi Pustaka

Metode yang digunakan untuk memperoleh informasi dan data sebagai bahan referensi dengan mempelajari buku-buku yang berhubungan dengan mikohidro dan juga jurnal-jurnal hasil penelitian terdahulu.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan ini ditujukan untuk memaparkan hasil pembuatan, perakitan dan pengujian sistem yang dibuat. Untuk mempermudah pemahaman, maka penulis menyusun skripsi ini dalam beberapa bab, yang masing-masing bab mempunyai hubungan yang saling terkait dengan bab lain, yaitu seperti di bawah ini:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan skripsi.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan tentang teori-teori dasar yang menunjang dalam pengerjaan skripsi, yaitu mencakup tentang teori dalam perencanaan PLTMH, rumus-rumus yang digunakan pada perencanaan dan gambar komponen yang ada pada PLTMH.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Membahas tentang metode pengumpulan data subjek pada skripsi ini, yaitu metode studi pustaka (*literature*) dan metode studi lapangan yang meliputi wawancara dan observasi objek PLTMH.

BAB 4 ANALISA DATA DAN PERHITUNGAN

Dalam bab ini disertakan hasil–hasil pengukuran objek berupa analisa data PLTMH yang sudah ada serta perhitungan perencanaan setiap komponen pada PLTMH dan perhitungan perencanaan penambahan kapasitas daya PLTMH.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dalam perencanaan dan pembuatan skripsi serta saran-saran yang ingin disampaikan penulis untuk pengembangan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Mikrohidro Power adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (*resources*) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi turbin maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

Biasanya Mikrohidro dibangun berdasarkan kenyataan bahwa adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*) sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah *head*.

Mikrohidro juga dikenal sebagai *white resources* dengan terjemahan bebas bisa dikatakan "*energi putih*". Dikatakan demikian karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang telah disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Sebab instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang disediakan oleh alam dan ramah lingkungan. Dengan teknologi sekarang maka energi aliran air beserta energi perbedaan ketinggiannya dengan daerah tertentu dapat diubah menjadi energi listrik,

Seperti dikatakan di atas, Mikrohidro hanyalah sebuah istilah. Mikro artinya kecil sedangkan hidro artinya air. Dalam, prakteknya istilah ini tidak

merupakan sesuatu yang baku namun bisa dibayangkan bahwa Mikrohidro, pasti menggunakan air sebagai sumber energinya.

Yang membedakan antara istilah Mikrohidro dengan Minihidro adalah output daya yang dihasilkan. Mikrohidro menghasilkan daya lebih rendah dari 300 KW, sedangkan untuk minihidro daya keluarannya berkisar antara 300 KW sampai 10 MW. Klasifikasi PLTA berdasarkan daya listrik yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Hidro Power

NAMA	ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN
<i>Pico-Hydro</i>	Dari ratusan watt hingga 5 KW
<i>Micro-Hydro</i>	Dari 5 KW hingga 300 KW
<i>Mini-Hydro</i>	Dari 300 KW hingga 10 MW
<i>Small –Hydro</i>	Dari 10 MW hingga 15 MW
<i>Medium-Hydro</i>	Dari 15 MW hingga 100 MW
<i>Large- Hydro</i>	Lebih dari 100 MW

2.2 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Prinsip kerja dari PLTMH sendiri pada dasarnya sama dengan PLTA hanya saja berbeda kapasitasnya atau besarnya. PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian atau sudut kemiringan dan jumlah debit air per detik yang ada pada saluran irigasi, sungai, maupun air terjun.

Aliran air akan memutar turbin sehingga akan menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik turbin akan memutar generator dan generator menghasilkan listrik. Skema prinsip kerja PLTMH dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Gambar 2.1 Skema Prinsip Kerja PLTMH

Pembangunan PLTMH perlu diawali dengan pembangunan bendungan untuk mengatur aliran air yang akan dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak PLTMH. Bendungan ini perlu dilengkapi dengan pintu air dan penyaring sampah (*filter*) untuk mencegah masuknya kotoran maupun endapan lumpur. Bendungan sebaiknya dibangun pada dasar sungai yang stabil dan aman terhadap banjir. Didekat bendungan dibangun bangunan pengambil (*intake*), kemudian dilanjutkan dengan pembuatan saluran pembawa yang berfungsi mengalirkan air dari *intake*. Saluran ini dilengkapi dengan saluran pelimpah pada setiap jarak tertentu untuk mengeluarkan air yang berlebih.

Saluran ini dapat berupa saluran terbuka atau tertutup. Di ujung saluran pelimpah dibangun kolam pengendap. Kolam ini berfungsi untuk mengendapkan pasir dan menyaring kotoran sehingga air yang masuk ke turbin relatif bersih. Saluran ini dibangun dengan cara memperdalam dan memperlebar saluran pembawa dan menambahnya dengan saluran penguras.

Bak penenang/bak penampungan juga dibangun untuk menenangkan aliran air yang akan masuk ke turbin dan mengarahkannya masuk ke pipa pesat. Bak ini dibuat dengan konstruksi beton dan berjarak sedekat mungkin ke rumah turbin untuk menghemat pipa pesat.

Pipa pesat berfungsi mengalirkan air sebelum masuk ke turbin. Dalam pipa ini, energi potensial air di kolam penenang diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar *runner* turbin. Biasanya terbuat dari pipa baja lalu disambungkan antar pipa digunakan flens. Pipa ini harus didukung oleh pondasi yang mampu menahan beban statis dan dinamisnya. Pondasi dan dudukan ini diusahakan selurus mungkin, karena itu perlu dirancang sesuai dengan kondisi tanah.

Turbin, generator dan sistem kontrol masing-masing diletakkan dalam sebuah rumah yang terpisah. Pondasi turbin-generator juga harus dipisahkan dari pondasi rumahnya. Tujuannya adalah untuk menghindari masalah akibat getaran. Rumah turbin harus dirancang sedemikian baik agar memudahkan perawatan dan pemeriksaan, setelah keluar dari pipa pesat, air akan memasuki turbin pada bagian inlet. Di dalamnya terdapat *guided vane* untuk mengatur pembukaan dan penutupan turbin serta mengatur jumlah air yang masuk ke *runner/blade* (komponen utama turbin). *Runner* terbuat dari baja dengan kekuatan tarik tinggi yang dilas pada dua buah piringan sejajar. Aliran air akan memutar *runner* dan menghasilkan energi kinetik yang akan memutar poros turbin.

Energi yang timbul akibat putaran poros kemudian ditransmisikan ke generator. Seluruh sistem ini harus *balance*, turbin harus dilengkapi casing yang

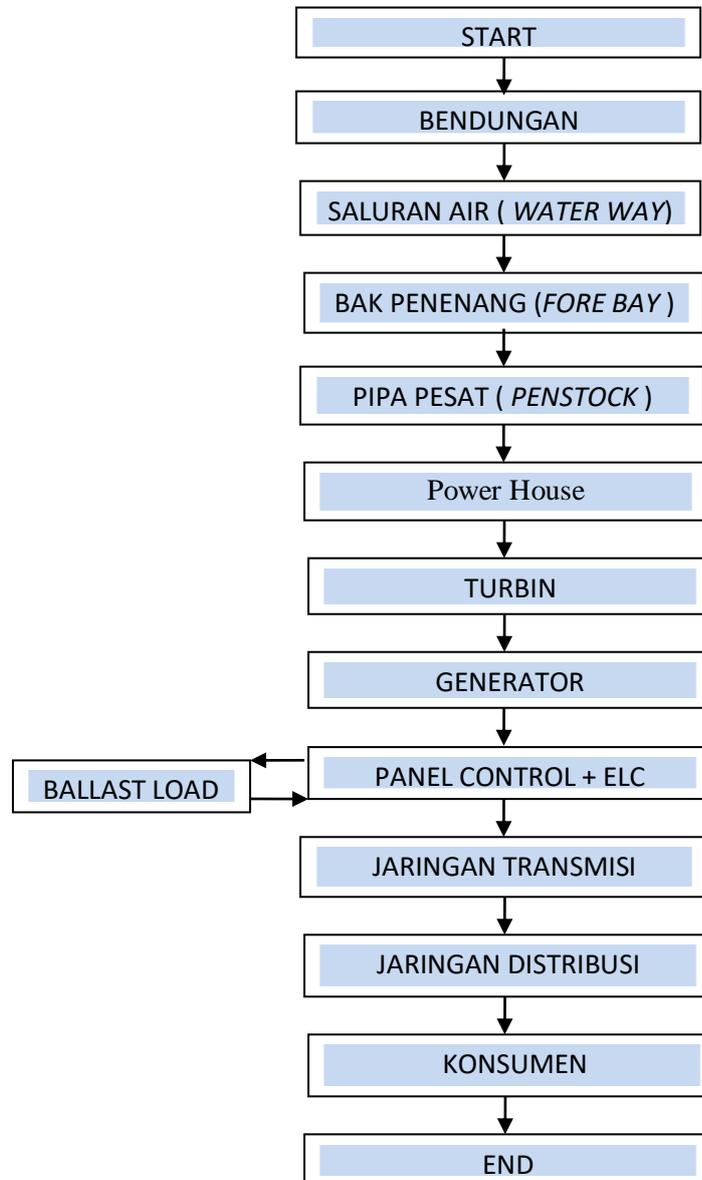
berfungsi mengarahkan air ke runner. Pada bagian bawah casing terdapat pengunci turbin. Bantalan (*bearing*) terdapat pada sebelah kiri dan kanan poros dan berfungsi untuk menyangga poros agar dapat berputar dengan lancar.

Daya poros dari turbin ini harus ditransmisikan ke generator agar dapat diubah menjadi energi listrik. Generator yang dapat digunakan pada mikrohidro adalah generator sinkron dan generator induksi. Sistem transmisi daya ini dapat berupa sistem transmisi langsung (daya poros langsung dihubungkan dengan poros generator dengan bantuan kopling), atau sistem transmisi daya tidak langsung, yaitu menggunakan sabuk atau belt untuk memindahkan daya antara dua poros sejajar.

Keuntungan sistem transmisi langsung adalah lebih kompak, mudah dirawat, dan efisiensinya lebih tinggi. Tetapi sumbu poros harus benar-benar lurus dan putaran poros generator harus sama dengan kecepatan putar poros turbin. Masalah ketidaklurusan sumbu dapat diatasi dengan bantuan kopling fleksibel. *Gearbox* dapat digunakan untuk mengoreksi rasio kecepatan putaran.

Sistem transmisi tidak langsung memungkinkan adanya variasi dalam penggunaan generator secara lebih luas karena kecepatan putar poros generator tidak perlu sama dengan kecepatan putar poros turbin. Jenis sabuk yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis *flat belt*, sedang *V-belt* digunakan untuk skala di bawah 20 kW. Komponen pendukung yang diperlukan pada sistem ini adalah *pulley*, bantalan dan kopling. Listrik yang dihasilkan oleh generator dapat langsung ditransmisikan lewat kabel pada tiang-tiang listrik menuju rumah konsumen. Proses pembangkit listrik tenaga *micro hydro* dapat

digambarkan menggunakan diagram alir proses. Diagram alir proses pada PLTMH dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram Alir Proses PLTMH

2.3 Komponen-Komponen Pada PLTMH

PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi

mekanik. Secara teknis, Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dengan ketinggian tertentu menuju rumah instalasi (rumah turbin). Di rumah instalasi air tersebut akan menumbuk turbin, dimana turbin akan menerima energi air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan ke generator. Dari generator akan dihasilkan energi listrik yang akan masuk ke sistem kontrol arus listrik sebelum dialirkan ke rumah-rumah atau keperluan lainnya. Bagian-bagian pada PLTMH adalah sebagai berikut.

2.3.1 Bendungan dan Bangunan Pengambilan (*Intake*)

Bendungan berfungsi untuk menaikkan permukaan air, menampung air dan mengarahkan air dari sungai masuk ke dalam saluran pembawa. Bendungan biasanya terbuat dari semen, kayu dan beronjong. Berfungsi untuk

2.3.2 Saluran Pembawa (*Headrace*)

Headrace berfungsi untuk mengalirkan air dari bangunan pengambilan (*intake*) ke bak penampungan (*Forebay*), saluran pembawa ini juga berfungsi untuk mempertahankan kestabilan debit air, saluran pembawa ini dapat juga berbentuk pipa.

Debit yang melalui saluran pembawa dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q = V \times A$$

Kecepatan aliran pada saluran pembawa dapat diperoleh dengan persamaan Manning-Strikler sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Keterangan :

Q = Debit (m³/s)

V = Kecepatan rata-rata (m/s)

R = Jari-jari hidrolik (m)

A = Luas penampang basah

P = Keliling penampang basah

S = Kemiringan dasar saluran

n = Koefisien kekasaran

2.3.3 Bak Penampungan (*Forebay*) dan Saringan

Bak penampungan berfungsi untuk mengendalikan volume dan debit air yang akan di alirkan ke turbin melalui pipa pesat (penstock), pemisahan akhir kotoran dalam air seperti pasir, kayu-kayuan dan sekaligus sebagai penentu ketinggian jatuh air.

Saringan berfungsi untuk menyaring sampah-sampah yang ikut terbawa oleh air dari bangunan pengambil (Intake) ke bak penampungan (Forebay).

Kapasitas bak penenang dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_f = A_f \times h_f$$

$$V_f = B \times L \times d_f$$

Keterangan :

V_f = Volume bak penenang (m³)

A = Luas bak penenang (m²)

B = Lebar bak penenang (m)

L = Panjang bak penenang (m)

h_f = Tinggi muka air pada bak penenang (m)

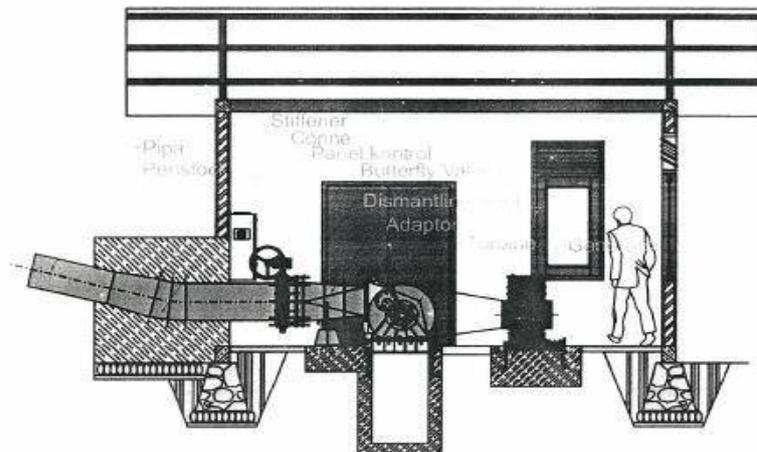
d_f = Selisih antara tinggi muka air normal pada debit desain

2.3.4 Saluran Pembuangan (*Spillway*)

Saluran Pembuangan berfungsi sebagai saluran untuk pembuangan air jika volume air yang masuk berlebih masuk ke bak penenang (*forebay*).

2.3.5 Rumah Pembangkit (*Power House*)

Tujuan bangunan rumah pembangkit (*power house*) adalah sebagai bangunan yang berfungsi untuk melindungi peralatan elektro mekanikal seperti turbin, generator, panel kontrol, dan lainnya dari segala cuaca dan juga mencegah dari orang yang tidak berkepentingan dan pencurian peralatan barang tersebut. Potongan rumah pembangkit dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Potongan Rumah Pembangkit

Bagian bawah lantai rumah pembangkit terhubung dengan saluran pembuangan air (*tail race*) kembali menuju sungai. Posisi lantai rumah pembangkit berada pada ketinggian minimal sekitar 1,5 meter dari dasar *tail race*. Beberapa

pertimbangan dalam memilih lokasi dan membangun rumah pembangkit ini, antara lain :

1. Konstruksi harus berada di atas struktur tanah yang sangat stabil, tidak di lereng yang curam, dan umumnya di pinggir daerah aliran sungai yang relatif rendah dan datar.
2. Memiliki akses jalan yang cukup lebar untuk transportasi peralatan elektrikal-mekanikal yang akan dipasang.
3. Di lokasi yang relatif rata dan kering, sedikit luas sehingga dapat digunakan untuk tempat kerja seperti pada saat perbaikan dan perawatan peralatan.
4. Elevasi lantai rumah pembangkit ini harus berada di atas elevasi muka air saat banjir yang paling besar dalam beberapa tahun terakhir.
5. Karena berupa bangunan, harus memiliki ventilasi udara, jendela untuk cahaya masuk tetapi diberikan seperti kasa untuk melindungi serangga masuk.
6. Ruang yang dibangun juga cukup untuk digunakan seperti penyimpanan peralatan dan atau suku cadang peralatan elektrikal dan mekanikal.
7. Kondisi pondasi harus cukup kuat untuk menahan pemasangan beberapa peralatan yang memiliki berat yang cukup.

2.3.6 Pipa Pesat (*Penstock*)

Pipa Pesat berfungsi sebagai media penyalur air dari bak penampung ke turbin. Efisiensi pipa pesat dipengaruhi oleh permukaan penampang aliran serta jumlah belokan. Instalasi pipa pesat dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Gambar 2.4 Instalasi Pipa Pesat (*Penstock*)

Sumber : Adam Harvey (1993)

Jenis-jenis pipa dan material yang digunakan sebagai pipa pesat (*penstock*)

PLTMH adalah :

1. *Mild Steel*
2. *Unplastized Polyvinyl chloride (uPVC)*
3. *High-Density Polyethylene (HDPE)*
4. *Medium-Density Polyethylene (MDPE)*
5. *Spun Ductile Iron*
6. *Asbestos Cement*
7. *Presstressed Concrete*
8. *Wood Stave*
9. *Glass Reinforced Plastic (GRP)*

Pada pemilihan pipa dapat ditentukan harga perkiraan kekasaran pipa k dibagian dalam pipa dengan menggunakan diagram Moody sesuai dengan rencana umur pipa. Dari situ maka harga k/d dapat diperoleh sehingga dengan menggunakan diagram Moody nilai f bisa didapat.

Dengan Instalasi pipa yang direncanakan maka kerugian *head* akibat gesekan dalam pipa bisa dihitung dengan persamaan (*Harvey Adam, 1993*)

$$h_{wall\ loss} = \frac{f \times L_{pipe} \times 0.08 \times Q^2}{d^5}$$

Keterangan :

$h_{wall\ loss}$ = Kehilangan ketinggian akibat gesakan pada dinding pipa (m)

f = Nilai kekasaran permukaan pipa

L_{pipe} = Panjang Pipa pesat (m)

Q = Debit air (m³/s)

d = diameter pipa (m)

1. Untuk menentukan tinggi jatuh bersih (H_n) digunakan persamaan berikut.

$$H_n = H_{gross} - H_{friction\ loss}$$

Keterangan :

H_n = Tinggi jatuh bersih (m)

H_{gross} = Tinggi jatuh kotor (m)

$H_{friction\ loss}$ = Kehilangan ketinggian akibat gesekan pada dinding pipa dan pada tiap sambungan di pipa (m)

2. Untuk kehilangan ketinggian akibat gesekan pada dinding pipa dan pada tiap sambungan di pipa ($H_{friction loss}$) digunakan persamaan berikut.

$$H_{friction loss} = H_{wall loss} + H_{turb loss}$$

Keterangan :

$H_{friction loss}$ = kehilangan ketinggian akibat gesekan pada dinding pipa dan pada tiap sambungan di pipa (m)

$H_{wall loss}$ = Kehilangan ketinggian akibat gesekan pada dinding pipa (m)

$H_{turb loss}$ = kehilangan ketinggian akibat gesekan pada tiap sambungan pada pipa (m)

3. Untuk kehilangan ketinggian akibat gesekan pada tiap sambungan pada pipa pesat ($H_{turb loss}$) digunakan persamaan berikut.

$$H_{turb loss} = \frac{v^2}{2g} (K_{entrance} + K_{bend 1} + K_{bend 2} + K_{valve})$$

Keterangan :

$H_{turb loss}$ = kehilangan ketinggian akibat gesekan pada tiap sambungan pada pipa (m)

v = Kecepatan aliran air dalam pipa (m/s)

g = Gravitasi Bumi (9,81 m²/s)

4. Untuk menghitung panjang pipa pesat (L_{pipe}) dapat digunakan persamaan berikut.

$$L_{pipe} = \sqrt{L_{hor}^2 + H_{gross}^2}$$

Keterangan :

L_{pipe} = Panjang pipa pesat (m)

L_{hor}^2 = Jarak horizontal dari bak penenang ke rumah turbin (m)

H_{gross}^2 = Tinggi jatuh kotor (m)

5. Kecepatan aliran air pada pipa pesat dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut : (*Darcy-Weisbach*)

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2}$$

Keterangan :

V = Kecepatan air dalam pipa pesat (m/s)

Q = Debit air yang masuk dalam pipa pesat (m³/s)

d = diameter dalam pipa pesat (m²)

6. Diameter minimum pipa pesat dapat menggunakan rumus sebagai berikut. *European Standard Hydropower Association* (ESHA).

$$D = 2.69 \times \left(\frac{n^2 \times Q^2 \times L}{H} \right)^{0.1875}$$

Keterangan :

D = Diameter pipa pesat (m)

Q = Debit pembangkit (m³/dt)

H = Tinggi jatuh (m)

L = Panjang pipa pesat (m)

n = Koefisien manning

2.3.7 Turbin Air

Turbin air adalah suatu mesin fluida yang berputar diakibatkan oleh energi potensial dan energi kinetik dari aliran fluida. Fluida yang bergerak menjadikan *runner* pada turbin berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan generator. Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial dan energi kinetik menjadi energi mekanik. Dengan kemajuan ilmu Mekanika fluida dan Hidrolika serta memperhatikan sumber energi air yang cukup banyak tersedia di pedesaan akhirnya timbullah perencanaan-perencanaan turbin yang divariasikan terhadap tinggi jatuh (*head*) dan debit air yang tersedia. Pada uraian berikut akan dijelaskan pengklasifikasian turbin air berdasarkan beberapa kriteria.

1. Klasifikasi Turbin Berdasarkan Perubahan Momentum Fluida Kerjanya

Berdasarkan perubahan momentum fluida kerjanya, turbin air dapat dibagi atas dua tipe, yaitu :

a. Turbin Impuls

Semua energi potensial air pada turbin ini dirubah menjadi menjadi energi kinetis sebelum air masuk atau menyentuh sudu-sudu *runner* oleh alat pengubah yang disebut nozel. Yang termasuk jenis turbin ini antara lain Turbin Pelton dan Turbin *Cross-Flow*.

b. Turbin Reaksi

Pada turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran runner disebabkan oleh

perubahan momentum oleh air. Yang termasuk jenis turbin reaksi diantaranya Turbin Francis, Turbin Kaplan dan Turbin Propeller.

2. Klasifikasi Turbin Berdasarkan Model Aliran Air Masuk *Runner*.

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

a. Turbin Aliran Tangensial

Pada kelompok turbin ini posisi air masuk runner dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros *runner* mengakibatkan *runner* berputar, contohnya Turbin Pelton dan Turbin *Cross-Flow*.

b. Turbin Aliran Aksial

Pada turbin ini air masuk *runner* dan keluar *runner* sejajar dengan poros *runner*, Turbin Kaplan atau Propeller adalah salah satu contoh dari tipe turbin ini.

c. Turbin Aliran Aksial-Radial

Pada turbin ini air masuk ke dalam *runner* secara radial dan keluar *runner* secara aksial sejajar dengan poros. Turbin Francis adalah termasuk dari jenis turbin ini.

3. Klasifikasi Turbin Berdasarkan Kecepatan Spesifik (n_s)

Yang dimaksud dengan kecepatan spesifik dari suatu turbin ialah kecepatan putaran runner yang dapat dihasilkan daya efektif 1 BHP untuk setiap tinggi jatuh 1 meter. Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik masing-masing, kecepatan spesifik untuk beberapa turbin konvensional dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Kecepatan Spesifik Turbin Konvensional

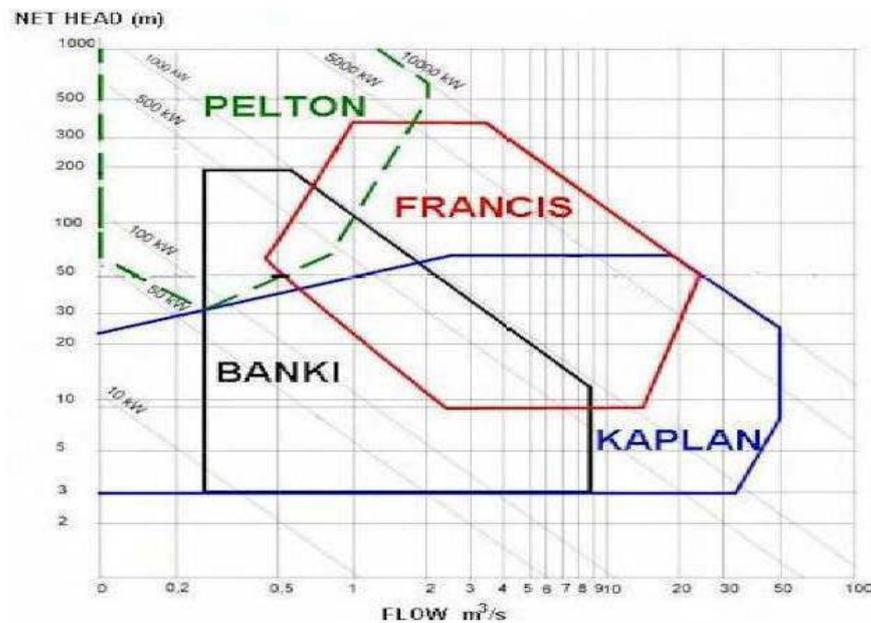
No	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
1.	<i>Pelton dan kincir air</i>	10 - 35
2.	<i>Francis</i>	60 - 300
3.	<i>Cross-Flow</i>	70 - 80
4.	<i>Kaplan dan propeller</i>	300 - 1000

4. Klasifikasi Turbin Berdasarkan *Head* dan Debit

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

- a. *Head* yang rendah yaitu dibawah 40 meter tetapi debit air yang besar, maka Turbin Kaplan atau propeller cocok digunakan untuk kondisi seperti ini.
- b. *Head* yang sedang antara 30 sampai 200 meter dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini gunakanlah Turbin Francis atau Cross-Flow.
- c. *Head* yang tinggi yakni di atas 200 meter dan debit sedang, maka gunakanlah turbin impuls jenis Pelton.

Untuk menentukan jenis turbin yang akan digunakan dapat dengan melihat grafik empiris antara Debit vs Head yang dapat dilihat pada Gambar 2.5 yang menunjukkan daerah penggunaan untuk beberapa jenis turbin berdasarkan debit dan *head* yang divariasi dengan daya keluaran turbin.



Gambar 2.5 Grafik Pemilihan Turbin air berdasarkan Debit dan Head

2.3.8 Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan pengembangan dari turbin impuls yang ditemukan oleh S.N.Knight tahun 1872 dan N.J. Colena tahun 1873 dengan pasang mangkok-mangkok pada roda turbin. Setelah itu turbin impuls dikembangkan oleh orang amerika Lester G. Pelton (1880) yang melakukan perbaikan dengan penerapan mangkok ganda simetris, punggung membelah membagi jet menjadi dua paruh yang sama yang dibalikkan menyamping.

Jenis Turbin ini memiliki satu atau beberapa jet penyemprot air untuk memutar piringan. Tak seperti turbin jenis reaksi, turbin ini tidak memerlukan tabung diffuser. Ketinggian air (head) = 200 s.d 2000 meter. Debit air = 4 s.d 15 m^3/s . Turbin pelton digolongkan ke dalam jenis turbin impuls atau tekanan sama. Karena selama mengalir di sepanjang sudu-sudu turbin tidak terjadi penurunan tekanan, sedangkan perubahan seluruhnya terjadi pada bagian pengarah pancaran atau nozzel. Energi yang masuk ke roda jalan dalam bentuk energi kinetik.

Turbin Pelton yang bekerja dengan prinsip impuls, semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke mangkok jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Pancaran air tersebut yang akan menjadi gaya tangensial F yang bekerja pada mangkok roda jalan. Turbin pelton beroperasi pada tinggi jatuh yang besar . Tinggi air jatuh dihitung mulai dari permukaan atas sampai tengah tengah pancaran air.

Bentuk mangkok terbelah menjadi dua bagian yang simetris, dengan maksud adalah agar dapat membalikan pancaran air dengan baik dan membebaskan mangkok dari gaya-gaya samping. Dalam perancangan turbin pelton telah ada suatu ketentuan yang mengatur dari desain / rancangan turbin pelton secara baku. Intinya kita tinggal menggunakan beberapa parameter utama untuk menghasilkan dimensi lain Turbin jenis ini biasanya digunakan untuk menghasilkan listrik berkapasitas besar pada pusat tenaga air tekanan tinggi. Turbin pelton dilengkapi dengan satu, dua, empat sampai dengan enam nozzle. Gambar Turbin Pelton dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Turbin Pelton

1. Kelebihan Turbin Pelton :
 - a. Daya yang dihasilkan besar

- b. Konstruksi yang sederhana
 - c. Mudah dalam perawatan dan Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.
2. Kelemahan Turbin Pelton :
- a. Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air, sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak.

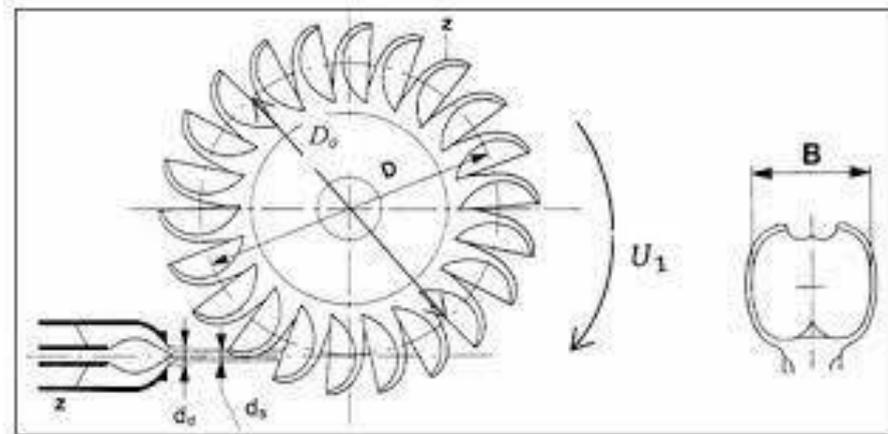
2.3.9 Prinsip Dasar Kerja Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan turbin impuls yang prinsip kerjanya mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik dalam bentuk pancaran air. Pancaran air yang keluar dari mulut nozel diterima oleh mangkok-mangkok pada roda jalan sehingga roda jalan berputar. Dari putaran inilah menghasilkan energi mekanik yang memutar poros generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Perancangan turbin pelton dimulai dengan melakukan penegenal dan identifikasi, pertimbangan dan melihat faktor keamanannya untuk dapat menyajikan hasil rancangan dengan baik begitu juga dengan material yang akan digunakan dalam perancangan turbin pelton. Dalam perancangan di butuhkan massa jenis atau density (ρ) untuk dapat menentukan berat jenisnya, massa jenis merupakan massa suatu benda per satuan volume. Sedangkan berat jenis benda adalah berat suatu benda dalam satuan volume, berat mempunyai arah, berat suatu benda dipengaruhi oleh massa benda dan gravitasi.

2.3.10 Komponen Utama Turbin Pelton

Pada gambar 2.7 dapat dilihat dimensi dari Turbin Pelton dengan satu nozel atau jet.



Gambar 2.7 Dimensi dari Turbin Pelton

1. Rumah Turbin

Rumah turbin selain sebagai tempat turbin terpasang juga berfungsi menangkap dan membelokkan percikan aliran air keluar mangkuk sedemikian hingga baik runner maupun pancaran tidak terganggu.

2. *Runner*

Runner turbin pelton pada dasarnya terdiri atas cakera dan sejumlah mangkuk terpasang sekelilingnya. Kecepatan keliling runner dapat dihitung dengan persamaan: (Eisenring. M, 1994)

$$U_1 = K_u \sqrt{2 \times g \times H_n}$$

Keterangan:

U_1 = kecepatan keliling optimal (m/s)

K_u = Koefisien keliling optimal (0,45 – 0,49)

g = Gravitasi

H_n = Head net (m)

Diameter luar *runner* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$D_o = D + 1.2 h$$

$$D = \frac{60 \times u_1 \times i}{\pi \times n_g}$$

Keterangan:

D_o = Diameter luar Runner (m)

D = Diameter lingkaran tusuk (Dlt)(m)

h = Tinggi mangkuk (m)

i = Angka perbandingan putaran

n_g = Putaran mesin yang digerakkan (rpm)

3. Nosel (*nozzle*)

Nosel terdiri atas bagian selubung serupa hidung yang dipasang pada pipa, dan jarum nosel yang biasa digerakkan didalam belokan pipa kerucut jarum dan selubung yang cepat aus. Kecepatan mutlak dapat dihitung dengan persamaan (Eisenring. M, 1994) :

$$C_1 = K_c \sqrt{2 \times g \times H_n}$$

Keterangan :

C_1 = Kecepatan mutlak nosel (m/s)

K_c = Koefisien Jet (0,96 – 0,98)

g = Gravitasi (9,81 m²/s)

H_n = Head *net* atau tinggi efektif (m)

Diameter jet optimal dapat dihitung dengan persamaan:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times C_1}}$$

Keterangan:

d_s = Diameter nosel optimal (m)

Q = Debit (m^3/s)

C_1 = Kecepatan mutlak jet (m/s)

Z = Jumlah Nozel

Untuk menghitung diameter lingkaran tusuk (d_{lt}) dapat menggunakan rumus berikut.

$$D_{lt} = \frac{60 \times u_1 \times i}{\pi \times n_g}$$

Keterangan :

D_{lt} = Diameter lingkaran tusuk (mm)

u_1 = Kecepatan keliling optimal (m/s)

i = Angka perbandingan putaran

n_g = Putaran generator (rpm)

4. Mangkuk

Mangkuk turbin Pelton dipasang ke rotor dengan sambungan positif.

Dilakukan dengan memberi bentuk dovetail pada tangkai mangkuk.

Jumlah mangkuk optimal dihitung dengan persamaan :

$$z = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot d} + 15$$

Dimensi-dimensi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

- Lebar mangkuk : $b = (2,5 \sim 3,2)d$
- Tinggi mangkuk : $h = (2,1 \sim 2,7)d$
- Lebar bukaan mangkuk : $a = 1,2 \cdot d$
- Kedalaman mangkuk : $t = 0,9 \cdot d$
- Kelonggaran cetakan mangkuk : $k = (0,1 \sim 0,7)D_{lt}$

Keterangan:

b = Lebar mangkuk (mm)

h = Tinggi mangkuk (mm)

a = Lebar bukaan mangkuk (mm)

t = Kedalaman mangkuk (mm)

k = Kelonggaran cetakan mangkuk (mm)

2.3.11 Generator

Generator adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Dari energi mekanik itu dapat diubah menjadi energi listrik arus searah (DC) dan energi listrik arus bolak-balik (AC). Generator bekerja berdasarkan prinsip Hukum Faraday tentang induksi elektro magnetik yang berbunyi apabila suatu konduktor digerakkan dalam medan magnet maka akan membangkitkan gaya gerak listrik (GGL). Stator merupakan bagian dari generator yang pada saat dialiri arus listrik berada pada kondisi diam. Sedangkan Rotor adalah bagian generator yang bergerak. Generator dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu :

1. Generator Arus Searah (DC)

Generator DC merupakan generator arus searah dimana tegangan outputnya berupa tegangan searah karena didalamnya terdapat sistem penyearahan yang dilakukan bisa menggunakan dioda.

2. Generator Sinkron (AC)

Generator AC merupakan generator arus bolak-balik dimana tegangan outputnya berupa tegangan bolak-balik. Disebut sebagai generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran magnet pada stator. Kecepatan sinkron dihasilkan dari kecepatan putar

rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar stator. Kumparan medan pada rotor disuplai dengan medan arus searah (DC) untuk menghasilkan fluks yang diaman arus searah tersebut dialirkan ke rotor melalui sebuah cincin. Pada saat rotor berputar maka fluks magnet akan memotong konduktor dari stator dan akan timbul gaya gerak listrik (GGL).

2.3.12 ELC (*Electronic Load Control*)

ELC adalah suatu sistem kontrol yang yang digunakan untuk membuang kelebihan daya listrik yang dihasilkan oleh generator pada PLTMH dengan cara mengalihkan beban yang tidak terpakai ke beban pengganti (*ballast load*) sehingga frekuensi, tegangan, serta putaran generator tetap terkendali dan stabil. Sistem kontrol ELC harus dianggap sebagai satu kesatuan yang terdiri dari panel kontrol ELC, *ballast load* dan *Automatic Voltage Regulator* (AVR) untuk pengaturan tegangan. Gambar ELC dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Electronic Load Control* (ELC)

Ballast load adalah beban resistif murni yang akan dibuang oleh *load control* jika terjadi kelebihan daya pada pembangkit. *Ballast* dapat berupa

pemanas udara atau pemanas air. Gambar ballast load berupa pemanas udara dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Ballast Load berupa Air Heater

Ballast dipasang pada tempat yang tidak mudah terjangkau manusia dan harus dilindungi untuk menghindari radiasi panas dan sengatan listrik. *Load control* biasanya di aplikasikan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Berikut ada 2 tipe load control yang biasa digunakan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro, yaitu :

1. ELC (*Electronic load control*)
 - a. Digunakan untuk pembangkit yang menggunakan generator sinkron.
 - b. Parameter yang dikontrol adalah frekuensi.
 - c. *Automatic Voltage Regulator* (AVR) digunakan untuk menstabilkan tegangan pada saat beban berubah (terpasang pada generator).
 - d. Tidak membutuhkan suplai daya reaktif dari luar

ELC di lengkapi juga dengan sistem pengaman, sistem pengaman tersebut adalah:

- Pengaman arus lebih
- Pengaman tegangan lebih
- Pengaman frekuensi rendah
- Pengaman hubungan tanah
- Pengaman daya balik bila kerja paralel

2. IGC (*induction Generator Controller*)

- a. Digunakan untuk pembangkit dengan generator Induksi (motor sebagai generator).
- b. Parameter yang dikontrol adalah tegangan.
- c. Diperlukan kapasitor bank sebagai suplai daya reaktif untuk motor sebagai generator.

2.3.13 Jaringan Transmisi

Berfungsi untuk menyalurkan listrik yang dihasilkan dari power house ke konsumen yang terdiri dari tiang, kabel, dan trafo.

2.3.14 Saluran Pembuangan (*Tailrace*)

Saluran pembuangan ini berfungsi untuk mengalirkan debit air yang keluar dari turbin air untuk kemudian dibuang ke sungai. Saluran ini dimensinya harus sama atau lebih besar daripada saluran pemasukan mengingat adanya kemungkinan perubahan mendadak dari debit turbin air.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di Desa Pola Tebu, Kecamatan Kuta Buluh, Kabupaten Karo. Lama waktu penelitian selama tiga bulan (Juli 2015 - September 2015), dimulai dari praktek kerja lapangan, survei lapangan hingga laporan akhir.

3.2. Metode Pengumpulan Data

Untuk pengumpulan data dan penyusunan data yang diperlukan dalam pemecahan permasalahan dilakukan dengan beberapa metoda. Metoda kerja yang dilakukan dalam penelitian dan praktek kerja lapangan di PLTMH Desa Pola Tebu meliputi:

3.2.1 Metode Observasi

Metode ini merupakan metode yang langsung dengan mengadakan pengamatan data melakukan survei dilapangan serta melihat jenis perlengkapan pada alat ukur pengujian. Data yang diambil diantaranya:

1. Debit air
2. Ketinggian (head)
3. Data Curah Hujan

3.2.2 Metode *Interview*

Merupakan metode pengumpulan data dengan mengadakan secara langsung tanya jawab kepada orang-orang yang berada disekitar lokasi, meliputi

pemilik lokasi, warga desa, dinas terkait serta orang yang ahli dalam bidang mikrohidro.

3.2.3 Metode Dokumentasi

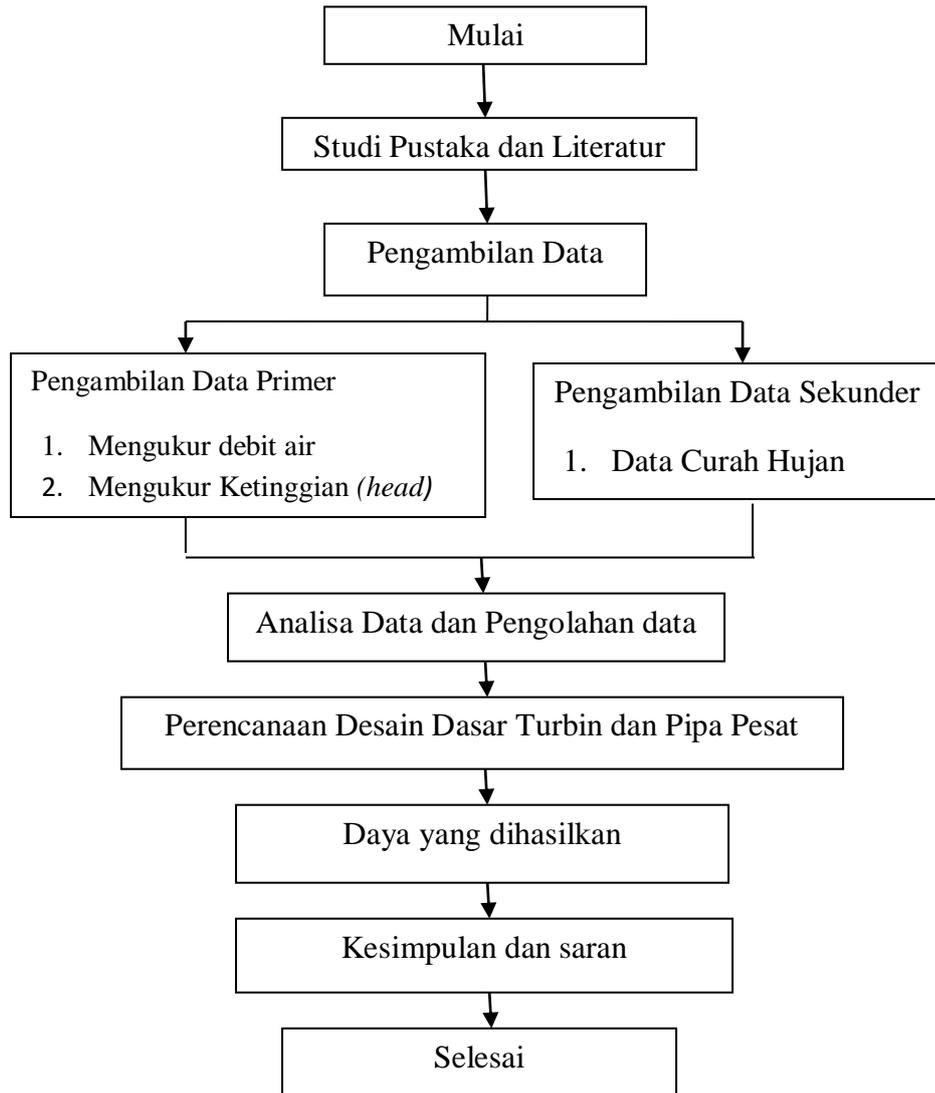
Yaitu mengumpulkan data-data penelitian meliputi foto-foto kegiatan, data pengukuran debit, head, topografi dan data-data lain yang dilakukan selama dalam penelitian.

3.2.4 Metode Tinjauan Pustaka dan *Literature*

Merupakan suatu metode penelitian yang dilakukan dengan menggunakan buku-buku *literature* sebagai pertimbangan dalam mempelajari hubungan atau keterkaitan tempat kerja praktek atau objek yang dibahas.

3.3 Blok Diagram Alir Rancangan Penelitian

Secara umum langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam diagram alir berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian

BAB 4

PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data PLTMH Desa Pola Tebu

Data PLTMH Desa Pola Tebu yang sudah ada dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data PLTMH Pola Tebu

NO.	DATA	KETERANGAN
1.	Lokasi PLTMH	Desa Pola Tebu, Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara
2.	Nama Sungai	Sungai Lau Simalem
3.	Debit Air PLTMH	0,6 m ³ /dtk
4.	Tinggi Jatuh	35 m
5.	Bendungan a. Tinggi Bendungan b. Lebar Bendungan	2 m 6 m
6.	Saluran Pembawa a. Lebar Saluran b. Panjang Saluran	2 m 12 m
7.	Pipa Pesat (<i>Penstock</i>) a. Diameter Pipa b. Panjang Pipa	500 mm 40 m
8.	Turbin a. Jenis Turbin b. Diameter Runner	<i>Crossflow</i> 300 mm
9.	Transmisi	Menggunakan <i>Pully Flat Belt</i>
10.	Daya Pembangkit	40 KW
11.	Generator a. Jenis Generator b. Kapasitas Generator	<i>Synchronous</i> (Merek Stamford) 50 KVA
12.	Sistem Kontrol	Menggunakan ELC

4.2 Analisa Data

4.2.1 Letak Geografis

Lokasi Desa Pola Tebu berada di Kecamatan Kutabuluh, Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara. Letak wilayah Kecamatan Kutabuluh berada di bagian Barat Kabupaten Karo, terletak pada 03°11'- 03°28' Lintang Utara dan 98°13'-

98°30' Bujur Timur yang seluruh wilayahnya berada pada hamparan dataran tinggi dengan ketinggian elevasi berkisar antara 630 - 1.100 meter di atas permukaan laut dengan luas wilayah 195,70 km².

4.2.2 Kependudukan

Luas wilayah Kecamatan Kuta Buluh 195.70 km² terdiri dari 16 desa yang memiliki jumlah penduduk 11.541 jiwa. Banyaknya penduduk, rumah tangga, dan rata-rata anggota rumah tangga dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Jumlah Penduduk Kecamatan Kutabuluh

No.	Desa/kelurahan	Jumlah Penduduk	Jumlah Rumah Tangga	Rata-Rata Anggota Rumah Tangga
1.	Pola Tebu	304	120	4
2.	Gunung meriah	541	178	3
3.	Negeri Jahe	1 047	321	3
4.	Buah Raya	488	167	3
5.	Bintang Meriah	1 408	454	3
6.	Siabang Abang	512	172	3
7.	Jinabun	1 177	390	3
8.	Kutabuluh	2 071	672	3
9.	Lau Buluh	883	316	3
10.	Kuta Male	521	187	3
11.	Ujung Deleng	693	235	3
12.	Tanjung Merahe	465	160	3
13.	Liang Mardeka	187	59	3
14.	Rih Tengah	387	126	3
15.	Mburidi	404	141	3
16.	Kutabuluh Gugung	453	166	3
Kec.Kutabuluh		11541	3864	3

Sumber : Data BPS Kabupaten karo 2019

4.2.3 Analisa Topografi

Survei topografi bertujuan untuk mengetahui beda tinggi (*Head*), karena beda tinggi (*Head*) merupakan parameter yang sangat penting dalam perencanaan PLTMH. Untuk pekerjaan topografi yang dilakukan pada pekerjaan ini yaitu

pengukuran dengan menggunakan GPS e-Trex Garmin dimana hasil yang diperoleh dari alat ini berupa nilai dari *easting*, *northing* dan *elevation* dari titik pengukuran yang nantinya digunakan sebagai acuan penetapan lokasi rencana bangunan yang akan digunakan seperti bendungan dan *power house*. Selain itu dapat juga digunakan dalam pekerjaan ini adalah GPS Hand type e-Trex yang berfungsi sebagai penunjuk arah untuk pencapaian lokasi rencana bendung dan *power house* yang sudah ditetapkan sebagai gambaran awal sebelum pekerjaan.



Gambar 4.1 GPS Hand e-Trex

Keadaan topografi sungai dilokasi PLTMH Pola Tebu adalah sekitar 90% terdiri dari daerah berbukit-bukit dan sekitar 10% merupakan daerah datar. Kemiringan lereng nya bervariasi antara 10° sampai 70° , kondisi topografi daerah aliran sungai Lau Simalem termasuk dalam kategori berbukit-bukit, kondisi tersebut tercermin dengan banyaknya anak-anak sungai. Secara umum berbentuk elipsoid condong memanjang yang mengindikasikan bahwa daerah ini tersusun oleh litologi yang relatif lunak dan seragam. Berdasarkan peta dan survey di lapangan pola aliran sungai adalah dendritik.

Ketinggian tempat di lokasi bendung PLTMH terletak pada elevasi 850 m dan ketinggian di lokasi rencana *power house* terletak pada elevasi 700 m. Hasil dari survey yang dilakukan di lapangan didapatkan beda tinggi :

$$\text{Elevasi Bendung} - \text{Elevasi Power House} = 850 \text{ m} - 700 \text{ m} = 150 \text{ m}$$

Hasil Pengukuran ini dilakukan dengan GPS Garmin e-Trex.

Data pengukuran topografi untuk perencanaan penambahan kapasitas daya dapat di lihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Topografi

No.	DATA	KETERANGAN
1.	Luas Site PLTMH	2 Ha
2.	Kemiringan Sungai	0,012 m
3.	Kemiringan Tebing Sungai	40% - 80%
4.	Tinggi Rencana Terjun Bruto	150 m

4.2.4 Analisa Hidrologi

1. Daerah Aliran Sungai

a. *Catchment Area*

Secara umum arah aliran sungai Lau Simalem mulai dari arah utara selanjutnya menuju ke selatan arah barat daya lalu menuju timur ke tenggara masuk ke Sungai Lau Biang yang akhirnya bermuara di Selat Malaka. Kemiringan Sungai Lau Simalem dimulai dari bagian hulu sampai ke lokasi rencana bendung PLTMH dengan kemiringan rata-rata 0,012 dan kemiringan kearah hilir adalah super kritis/ banyak terjunan. Pada daerah studi ini sedimen dasar sungai merupakan sirtu, pasir dan tanah lempung. Lebar sungai bervariasi antara 5 m sampai 10 m. Kemiringan tebing sungai curam 45° sampai 80°. Luas *catchment*

area PLTMH Pola Tebu di sungai Lau Simalem adalah $\pm 7,0$ Km². Panjang sungai dari hulu sampai ke lokasi rencana PLTMH mencapai $\pm 4,13$ Km.

b. Vegetasi Daerah Aliran Sungai

Vegetasi tumbuh-tumbuhan di daerah *Up-stream* sebelah kiri aliran sungai merupakan hutan belantara dan semak belukar, dan merupakan kawasan hutan. Sedangkan di hulu aliran sungai merupakan hutan, hutan produksi, semak belukar, perladangan masyarakat. Sedangkan bagian tengah daerah aliran sungai merupakan hutan dan semak belukar dan perladangan.

Daerah hilir lokasi pembangkit PLTMH sebagian masih kawasan kebun campuran, kebun Jeruk. Pada lokasi sekitar rencana PLTMH, merupakan areal perkebunan jeruk dan perladangan masyarakat. Pemanfaatan air dari sungai ini adalah untuk keperluan air minum, air baku, kolam ikan, mandi dan cuci.

4.2.5 Iklim dan Curah Hujan

Keadaan iklim dipengaruhi oleh Samudera Hindia, suhu udara berkisar antara 22°C-26°C dengan kelembaban sekitar 73-84% dan kecepatan angin 3-10 m/det, penyinaran matahari sekitar 37-73% dan penguapan sekitar 3.60 mm/hari, dilokasi pekerjaan terdiri dari 2 (dua) musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Stasiun pencatat iklim diambil dari Stasiun Klimatologi Kuta Gadung.

Rata-rata curah hujan pertahun 2019 dan banyaknya hari hujan dalam setahun 231 hari atau rata-rata 19 hari perbulan pada setiap tahun, pada umumnya curah hujan tinggi dan relatif turun hujan sepanjang tahun ini menggambarkan tidak akan

terjadi defisit debit air. Analisis data curah hujan akan diperoleh dari stasiun yang terdekat. Stasiun sebagai penakar curah hujan diambil dari Stasiun curah hujan Kuta Gadung, Berastagi. Data curah hujan pada tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data Curah Hujan Harian Stasiun Kuta Gadung Tahun 2019

Satuan : mm

Tanggal Menakar	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
1	4,6	0,0	89,6	51,5	0,0	0,8	0,0	33,0	12,8	58,9	1,1	70,5
2	12,6	0,0	1,2	1,2	71,2	TTU	0,5	47,4	6,2	2,0	2,9	5,0
3	1,0	0,0	3,6	3,9	0,0	19,0	1,6	0,0	0,5	1,0	0,0	13,8
4	0,0	0,0	0,0	15,3	0,4	4,5	1,8	14,7	0,5	15,6	0,7	1,6
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9	1,0	13,1	10,7	0,3	TTU	6,4
6	3,6	0,0	0,0	0,1	TTU	11,8	17,5	0,0	6,3	0,1	TTU	2,5
7	47,8	0,0	0,0	0,0	0,0	41,1	2,0	19,1	4,6	0,0	0,0	17,6
8	34,7	TTU	0,0	0,5	0,0	TTU	17,1	1,1	0,8	0,0	0,0	2,0
9	5,0	TTU	69,7	0,0	0,0	3,0	37,4	10,0	TTU	0,0	1,0	3,2
10	0,0	0,0	1,0	16,0	4,4	22,6	24,0	0,0	TTU	60,5	1,4	0,0
11	0,0	0,0	0,0	19,2	8,5	6,5	15,1	0,8	0,0	10,5	0,0	1,3
12	0,0	TTU	0,0	0,0	7,8	8,2	54,1	93,9	0,0	24,5	0,0	0,5
13	15,4	6,5	0,0	0,0	0,0	3,9	2,8	0,5	TTU	22,2	0,0	TTU
14	59,0	0,0	1,5	10,6	12,8	0,0	25,5	1,8	0,0	1,2	0,0	13,8
15	TTU	1,0	0,0	0,0	2,5	1,8	58,6	2,7	1,5	3,6	9,0	81,0
Jumlah	183,7	7,5	166,6	118,3	107,6	131,1	259	238,1	43,9	200,4	16,1	219,2
16	0,0	TTU	0,0	5,8	13,6	11,4	2,2	0,3	61,7	TTU	8,6	48,4
17	1,0	135,0	0,0	TTU	2,7	2,9	5,5	0,0	37,2	8,4	3,4	2,4
18	0,0	3,4	4,0	TTU	2,3	23,0	3,4	0,0	0,5	5,6	17,8	25,0
19	0,0	26,2	TTU	53,2	0,0	9,2	0,5	0,0	2,9	0,0	41,6	4,6
20	TTU	26,2	0,0	0,6	0,5	49,9	0,0	22,0	0,3	0,5	14,8	TTU
21	2,1	36,9	TTU	0,0	0,1	10,5	0,0	0,0	0,0	0,2	47,5	0,0
22	6,0	6,3	1,0	0,5	0,0	17,7	4,6	TTU	0,0	6,4	2,4	0,5
23	0,0	25,6	TTU	0,3	0,0	22,9	0,5	0,0	40,4	0,0	0,0	22,4
24	0,0	25,6	11,0	19,2	2,2	2,6	3,5	0,0	0,0	5,2	11,0	0,0
25	10,2	TTU	1,5	TTU	0,0	0,0	31,8	0,0	0,0	52,2	17,5	14,3
26	TTU	2,5	2,3	8,7	16,2	0,0	5,3	0,0	16,7	1,0	8,5	13,7
27	19,0	2,3	2,8	0,5	34,6	0,0	0,0	0,0	27,7	0,0	22,8	4,6
28	1,0	TTU	16,5	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	19,6	16,7	13,6	26,8
29	14,6	0,0	4,6	15,5	17,1	0,0	0,0	0,0	63,8	0,0	15,6	0,5
30	TTU	0,0	48,3	0,0	18,0	4,0	3,8	6,2	13,0	62,0	8,1	0,0
31	2,5	0,0	29,8	0,0	15,6	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Jumlah	56,4	290	121,8	104,3	126,4	154,1	61,1	30,8	283,8	158,2	233,2	163,2
Total	240,1	297,5	288,4	222,6	234	285,2	320,1	268,9	327,7	358,6	249,3	382,4
Hari Hujan	17	12	15	17	19	22	24	16	20	23	22	24
Hujan Maksimum	59	135	89,6	53,2	71,2	49,9	58,6	93,9	63,8	62	47,5	81

Sumber: Data curah hujan stasiun klimatologi Kuta Gadung 2019

Keterangan : 0 = Tidak Hujan

- = curah hujan tidak dicatat

+ = curah hujan lebih besar dari 0 dan lebih kecil dari 0.5 mm

4.2.6 Analisa Debit Bulanan

Analisa ketersediaan air pada pekerjaan ini meliputi :

1. Analisa mutu data yang akan dipakai dalam studi meliputi data curah hujan baik dari ARR (*Automatic Rainfall Recorder*) maupun MAR (*Manual Rainfall Recorder*) berupa analisa data yang hilang (*missing data*) dan analisa kepuguhan data (*consistency test*).
2. Pengumpulan data curah hujan dan data AWLR (*Automatic Water Level Recorder*) untuk analisa debit sungai yang terjadi.

Analisa Debit andalan dilakukan dengan menggunakan pendekatan berbeda-beda tergantung dari data yang tersedia.

1. Jika terdapat pencatatan debit yang panjang, debit andalan dihitung berdasarkan data debit.
2. Jika terdapat pencatatan debit tetapi hanya dalam periode pendek, maka debit dihitung berdasarkan data curah hujan, akan tetapi parameter yang digunakan dikalibrasi terhadap data debit yang ada.
3. Jika tidak terdapat pencatatan debit, maka debit andalan dihitung berdasarkan data curah hujan.

Analisis debit andalan dengan transformasi data hujan dihitung menggunakan Metode F.J. Mock.

4.2.7 Metode F.J. Mock

Langkah-langkah perhitungan debit andalan adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan Curah Hujan Areal
2. Perhitungan Debit Bulanan

Metode ini didasarkan pada data curah hujan, data klimatologi dan kondisi dari DAS yang bersangkutan. Adapun data-data yang diperlukan dalam perhitungan metode neraca air F.J. Mock, antara lain :

- a. Hujan bulanan rata-rata (mm)
- b. Hari hujan bulanan rata-rata (hari)
- c. Evapotranspirasi potensial bulanan (mm/bulan)
- d. Kondisi DPS

Debit andalan metode neraca air F.J. Mock, dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = (Dro + Bf) F$$

$$Dro = Ws - I$$

$$Ws = R - Et$$

Keterangan :

$$Q = \text{debit andalan (m}^3/\text{dt)}$$

$$Dro = \text{direct run off (m}^3/\text{dt)}$$

$$Bf = \text{base flow (m}^3/\text{dt/km}^2)$$

$$F = \text{catchment area (km}^2)$$

$$Ws = \text{water surplus (mm)}$$

$$I = \text{infiltrasi (mm)}$$

$$Vn = \text{storage volume (mm)}$$

$$R = \text{curah hujan (mm)}$$

$$Et = \text{evapotranspirasi Penman modifikasi (mm)}$$

$$\text{Run off} = (I - Vn) + 0,60 (P - EL) \text{ (mm/bln)}$$

$$Q = \text{run off} \times A \text{ (m}^3/\text{dt)}$$

Keterangan :

I = infiltrasi = 40 % water surplus

P-EL = water surplus (angka hujan bulanan rata-rata dikurangi limit evapotranspirasi)

El = $E_{to} - E$ = limit evapotranspirasi (mm)

E_{to} = evapotranspirasi pada bendung terbuka (mm)

V_a = $V_n - (V_{n-1})$ = Storage bulanan (mm)

V_n = $0,5 (1 + k) 1 + K (n - 1)$

K = koefisien infiltrasi = 0,6 A

A = luas daerah tangkapan hujan dan catchment area (km²)

Tabel 4.5 DEBIT ANDALAN (DEPENDABLE FLOW) TAHUN 2019 METODE DR.F.J. MOCK

No.	Uraian	Sat.	B U L A N											
			Jan	Peb	Mar	April	Mei	Juni	Juli	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
A. Data Meteorologi														
1	Curah Hujan Daerah (P)	mm	240,10	297,50	288,40	222,60	234,00	285,20	320,10	268,90	327,70	358,60	249,30	382,40
2	Rerata Hari Hujan (n)	-	17,00	12,00	15,00	17,00	19,00	22,00	24,00	16,00	20,00	23,00	22,00	24,00
B.	Evap potensial (Et)	mm/b l	78,82	56,86	78,82	60,61	63,38	82,47	63,38	73,38	48,73	78,82	82,47	48,73
C. Evap Ambang (E1)														
1	Kenampakan Permukaan (m)	%	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
2	$E/Et = m/20 (18 - n)$	%	1,00	6,00	3,00	1,00	(1,00)	(4,00)	(6,00)	2,00	(2,00)	(5,00)	(4,00)	(6,00)
3	$E = (2) \times Et$	mm	0,79	3,41	2,36	0,61	(0,63)	(3,30)	(3,80)	1,47	(0,97)	(3,94)	(3,30)	(2,92)
4	$E1 = Et - E$	mm	78,04	53,45	76,46	60,00	64,01	85,77	67,18	71,91	49,70	82,77	85,77	51,65
D.	Air Lebih (P - E1)	mm	162,06	244,05	211,94	20,00	169,99	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	163,53	330,75
E. Tampungan Air Tanah														
1	Infiltrasi (i) = 40 % (P - E1)	mm	64,83	97,62	84,78	162,60	67,99	199,43	252,92	196,99	278,00	275,83	65,41	132,30
2	$0,5 \times (1 + k) \times i (K = 0,60)$	-	51,86	78,10	67,82	65,04	54,40	79,77	101,17	78,79	111,20	110,33	52,33	105,84
3	$K \times Vn - 1$	mm	106,75	35,48	99,49	52,03	79,33	63,82	80,93	63,04	88,96	88,27	17,47	41,88
4	Volume Tam (Vn) = (2) + (3)	mm	158,61	113,58	167,31	78,43	133,72	31,05	52,63	78,28	31,58	62,74	69,80	147,72
5	$Vn' = Vn - (Vn - 1)$	mm	(19,31)	54,44	1,49	130,47	1,51	94,87	133,56	141,31	120,54	151,01	40,68	77,92
6	Base Flow (BF) = i - Vn'	mm	84,13	43,18	83,28	(0,26)	66,48	43,12	45,85	10,85	67,91	46,44	24,73	54,38
F. Limpasan Air														
1	(DRO) = 60% x (P - E1)	mm	97,24	146,43	76,07	97,56	101,99	119,66	151,75	118,19	166,80	165,50	198,45	144,73
2	Limp Air (RO) = (DRO) + (BF)	mm	181,37	189,61	153,13	162,86	168,48	156,32	207,07	186,14	210,09	229,39	252,83	223,11
Debit Andalan (Q)		m³/s	1,22	1,27	1,03	1,09	1,13	1,05	1,39	1,25	1,41	1,54	1,70	1,50

Tabel 4.6. Rata-Rata Debit Andalan Tahun 2019
(*Dependable Flow*) Metode Dr.Fj.Mock

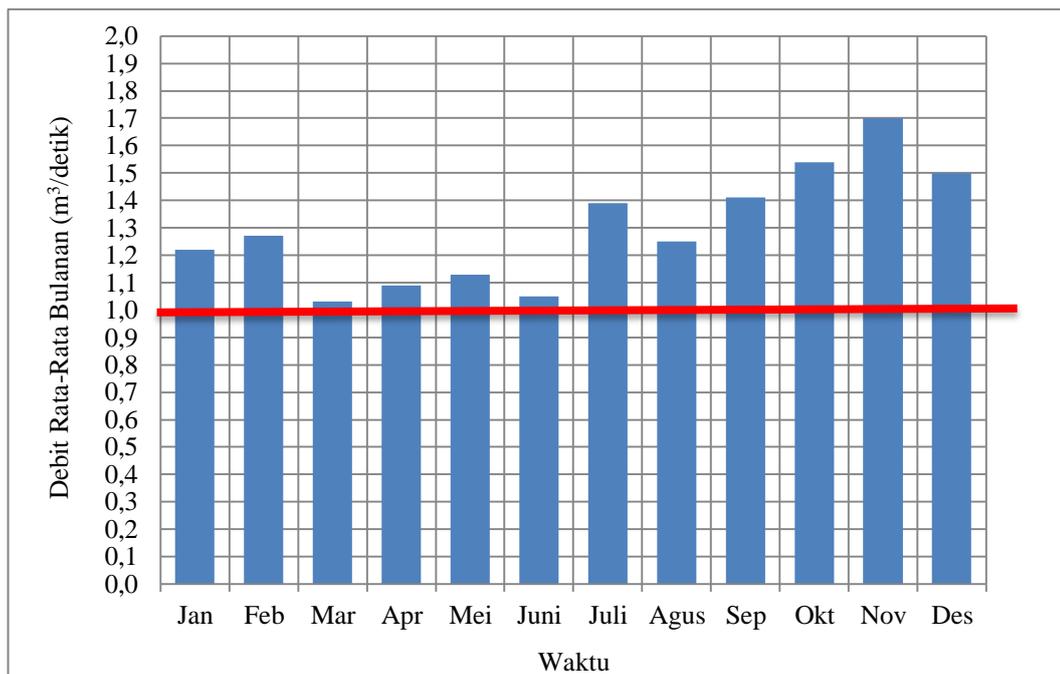
No.	Bulan	Debit (m ³ /dtk)
1.	Januari	1.22
2.	Februari	1.27
3.	Maret	1.03
4.	April	1.09
5.	Mei	1.13
6.	Juni	1.05
7.	Juli	1.39
8.	Agustus	1.25
9.	September	1.41
10.	Oktober	1.54
11.	November	1.70
12.	Desember	1.50
Debit Rata-Rata Tahun 2019		1.298

Tabel 4.7. Rata-Rata Debit Andalan Pada Musim Kemarau

No.	Musim Kemarau	Debit (m ³ /dtk)
1.	Januari	1.20
2.	Februari	1.15
3.	Maret	1.18
4.	April	1.10
5.	Mei	1.15
6.	Juni	1.15
Debit Rata-Rata Musim Kemarau		1.15

Tabel 4.8. Rata-Rata Debit Andalan Pada Musim Penghujan

No.	Musim Penghujan	Debit (m ³ /dtk)
1.	Juli	1.29
2.	Agustus	1.13
3.	September	1.45
4.	Oktober	1.26
5.	November	1.50
6.	Desember	1.65
Debit Rata-Rata Musim Penghujan		1.38



Gambar 4.2. Grafik Perubahan Debit Air Terhadap Waktu

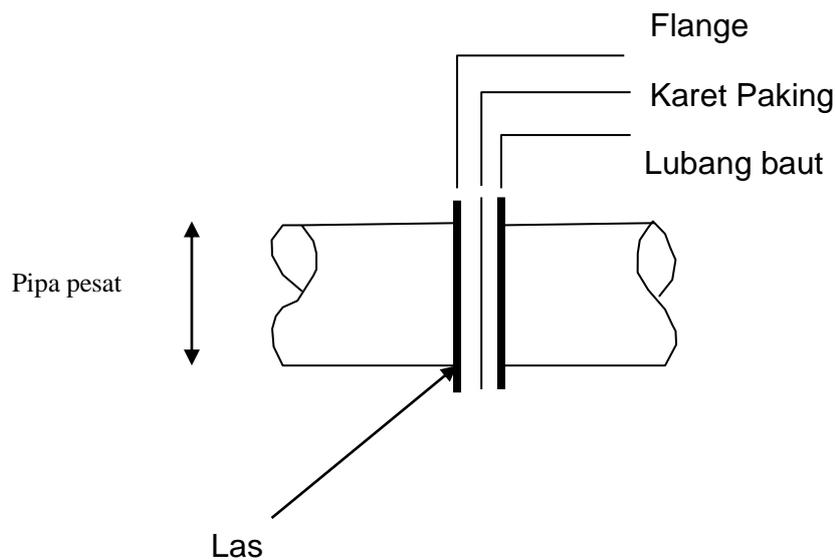
Dari grafik 4.2 diatas dapat dilihat perubahan debit air sungai setiap bulannya dalam kurun satu tahun. Debit air sungai terendah pada bulan maret di waktu musim kemarau dan debit air sungai tertinggi yaitu pada bulan november pada musim penghujan. Dapat dilihat juga pada grafik 4.2 besarnya defisit debit air sungai dalam setahun tidak pernah dibawah 1.0 m³/s dengan begitu debit andalan yang dapat digunakan untuk perencanaan penambahan kapasitas PLTMH Desa Pola Tebu yaitu sebesar 1.0 m³/s.

4.3 Analisa Perhitungan Data Perencanaan

4.3.1 Perhitungan Perencanaan Pipa Pesat

Pada perencanaan ini jenis pipa yang digunakan untuk menjadi pipa pesat (*penstock*) adalah tipe pipa baja (*plat rolled welded steel*) dengan jumlah jalur yaitu 1 jalur dengan panjang pipa sepanjang 600 meter.

Desain pipa pesat pada perencanaan ini adalah sebagai berikut.



Gambar 4.3 Potongan dari Pipa Pesat (*Penstock*)

1. Panjang Pipa Pesat

Menghitung panjang pipa pesat (L_{pipe}) dapat digunakan persamaan berikut.

$$L_{pipe} = \sqrt{L_{hor}^2 + H_{gross}^2}$$

$$L_{hor} = \sqrt{L_{pipe}^2 - H_{gross}^2}$$

$$L_{hor} = \sqrt{(600)^2 - (150)^2}$$

$$L_{hor} = 580,94 \text{ m}$$

Keterangan :

L_{pipe} = Panjang pipa pesat (m)

L_{hor} = Jarak horizontal dari bak penenang ke rumah turbin (m)

H_{gross} = Tinggi jatuh kotor (m)

2. Diameter Pipa Pesat

Diameter pipa pesat menggunakan rumus dari *European Standard*

Hydropower Association (ESHA), sebagai berikut.

$$D = 2.69 \times \left(\frac{n^2 \times Q^2 \times L}{H} \right)^{0.1875}$$

$$D = 2.69 \times \left(\frac{(0,009)^2 \times (1,0 \text{ m}^3/\text{s})^2 \times 600 \text{ m}}{150 \text{ m}} \right)^{0.1875}$$

$$D = 0,6 \text{ meter}$$

Keterangan :

D = Diameter pipa pesat (m)

Q = Debit pembangkit (m³/dt)

H = Tinggi jatuh (m)

L = Panjang pipa pesat

n = kekasaran pipa (*welded steel* = 0,009)

3. Kecepatan Aliran Pada Pipa Pesat

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2}$$

$$V = \frac{4 \times 1 \text{ m}^3/\text{s}}{3,14 \times (0,6 \text{ m})^2}$$

$$V = 3,53 \text{ m/s}$$

Keterangan :

V = Kecepatan aliran air pada pipa pesat (m/s)

Q = Debit rencana

D = Diameter pipa pesat

4. Rugi-Rugi Pada Pipa Pesat

$$h_{\text{wall loss}} = \frac{f \times L_{\text{pipe}} \times 0.08 \times Q^2}{d^5}$$

$$h_{\text{wall loss}} = \frac{0,013 \times 600 \text{ m} \times 0.08 \times (1 \text{ m}^3/\text{s})^2}{(0,6)^5}$$

$$h_{wall\ loss} = 8\ meter$$

Keterangan :

f = Nilai kekasaran permukaan pipa mild steel = 0,01 (Lampiran 1)

L = Panjang pipa (m)

Q = Debit (m^3/s)

d = Diameter pipa pesat

5. Rugi Akibat Turbulensi Pada Sambungan Pipa

Untuk kehilangan ketinggian akibat gesekan pada tiap sambungan pada pipa pesat ($H_{turb\ loss}$) digunakan persamaan berikut.

$$H_{turb\ loss} = \frac{v^2}{2g} (K_{entrance} + K_{bend\ 1} + K_{bend\ 2} + K_{valve})$$

Dengan perencanaan pipa pesat memiliki:

1. Elbow $45^\circ = 0,45$ (2 buah) (**Lampiran 3**)
2. Gate Valve = 0,1 (1 buah) (**Lampiran 3**)
3. Jenis profil masukan pipa dari bak penenang tipe 4 (**Lampiran 3**)

Dari data diatas dapat kita hitung besar rugi akibat turbulensi sebagai berikut.

$$H_{turb\ loss} = \frac{(3,53\ m/s)^2}{2 \cdot 9,81\ m^2/s} (0,2 + 0,45 + 0,45 + 0,1)$$

$$H_{turb\ loss} = 0,76\ m$$

Keterangan :

$H_{turb\ loss}$ = kehilangan ketinggian akibat gesekan pada tiap sambungan pada pipa (m)

v = Kecepatan aliran air dalam pipa (m/s)

g = Gravitasi Bumi ($9,81\ m^2/s$)

6. Rugi Keseluruhan yang Terjadi Pada Pipa Pesat

Untuk kehilangan ketinggian akibat gesekan pada dinding pipa dan pada tiap sambungan di pipa ($H_{friction loss}$) digunakan persamaan berikut.

$$H_{friction loss} = H_{wall loss} + H_{turb loss}$$

$$H_{friction loss} = 8 m + 0,76 m$$

$$H_{friction loss} = H_{wall loss} + H_{turb loss}$$

Keterangan :

$H_{friction loss}$ = kehilangan ketinggian akibat gesekan pada dinding pipa dan pada tiap sambungan di pipa (m)

$H_{wall loss}$ = kehilangan ketinggian akibat gesekan pada dinding pipa (m)

$H_{turb loss}$ = kehilangan ketinggian akibat gesekan pada tiap sambungan pada pipa (m)

7. Tinggi jatuh bersih (H_n)

Untuk menentukan tinggi jatuh bersih (H_n) digunakan persamaan berikut.

$$H_n = H_{gross} - H_{friction loss}$$

$$H_n = 150 meter - 8,76 meter$$

$$H_n = 141,24 meter$$

Keterangan:

H_n = Tinggi jatuh bersih (m)

H_{gross} = Tinggi jatuh kotor (m)

$H_{friction loss}$ = Tinggi yang hilang akibat rugi rugi pada pipa pesat (m)

4.3.2 Perencanaan Pemilihan Turbin Air

Dengan mengetahui kecepatan spesifik turbin maka perencanaan dan pemilihan jenis turbin akan menjadi lebih mudah. Beberapa formula yang dikembangkan dari data eksperimental berbagai jenis turbin dapat digunakan untuk melakukan estimasi perhitungann kecepatan spesifik turbin. Kecepatan Spesifik Turbin pada berbagai macam tipe turbin dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4.9 Kecepatan Spesifik Turbin

Tipe Turbin	Ns (Spesific speed) (rpm)
Pelton	12 - 30
Turgo	20 - 70
Crossflow	20 - 80
Francis	80 - 400
Propeller and Kaplan	340 - 1000

1. Pemilihan Jenis Turbin Berdasarkan Putaran Spesifik Turbin (Ns)

Untuk Turbin Pelton digunakan persamaan *Desiervo dan Lugaresi (1978)*

$$N_s = 85.49 / H_n^{0.243}$$

$$N_s = 85.49 / H_n^{0.243}$$

$$N_s = 85.49 / 142^{0.243}$$

$$N_s = 25.63 \text{ RPM}$$

Keterangan :

N_s = Kecepatan Putaran Spesifik Turbin

H_n = *Head Net* (Tinggi Jatuh Bersih)

Untuk Turbin Pelton dengan *Single Jet* digunakan persamaan berikut

$$N_{sj} = N_s \cdot \sqrt{Z}$$

$$N_{sj} = N_s \cdot \sqrt{Z}$$

$$N_{sj} = 25.63 \cdot 1$$

$$N_{sj} = 25.63 \text{ rpm}$$

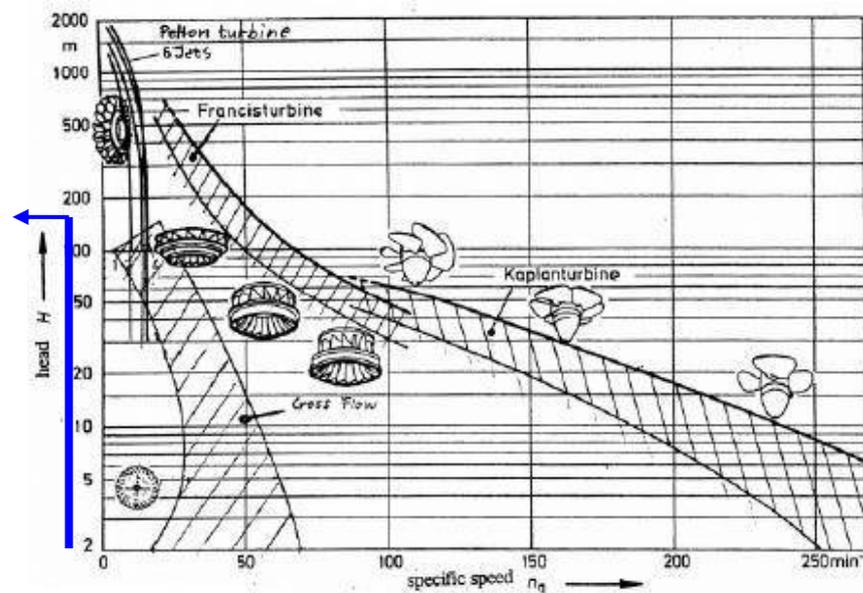
Keterangan :

N_s = putaran spesifik turbin

H_n = *Head Net* (Tinggi Jatuh Bersih)

Z = Jumlah Jet atau *Nozzel*

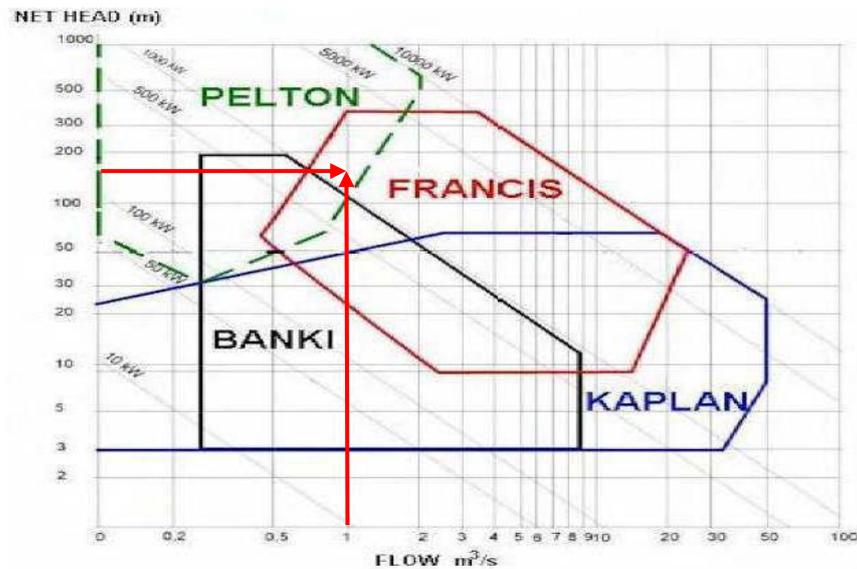
Dengan $N_s = 25.63 \text{ rpm}$, maka dapat diketahui bahwa tipe turbin yang dipakai adalah tipe **Turbin Pelton**. Pada Gambar 4.4 dapat dilihat cara menentukan pemilihan jenis turbin menggunakan grafik N_s vs H_{netto} .



Gambar 4.4 Grafik Penentuan Jenis Turbin (N_s vs H_{netto})

2. Pemilihan Jenis Turbin Berdasarkan Besar Debit dan Tinggi (*Head*)

Pada perencanaan ini desain turbin memiliki debit $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ dan juga tinggi jatuh kotor sebesar 150 meter. Berdasarkan grafik pemilihan turbin pada Gambar 4.3 maka jenis turbin yang di pilih adalah jenis *Turbin Pelton*.



Gambar 4.5 Grafik Pemilihan Turbin Berdasarkan Debit dan Tinggi Jatuh

3. Perhitungan Dimensi Utama Turbin Pelton

a. Kecepatan mutlak nozel (C_1)

Kecepatan mutlak jet (c_1) dapat dihitung dengan persamaan

(Einsering, M, 1994):

$$C_1 = K_c \sqrt{2 \times g \times H_n}$$

$$C_1 = 0,96 \sqrt{2 \times 9,81 \text{ m}^2/\text{s} \times 141,24 \text{ m}}$$

$$C_1 = 50,53 \text{ m/s}$$

Keterangan :

C_1 = Kecepatan mutlak nozel (m/s)

K_c = Koefisien Jet (0,96 – 0,98)

g = Gravitasi (9,81 m²/s)

H_n = Head *nett* (m)

b. Diameter jet optimal (d)

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times C_1}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 1,0 \text{ m}^3/\text{s}}{3,14 \times 50,53 \text{ m/s}}}$$

$$d = 0,15 \text{ meter}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

Keterangan:

d = Diameter nozel optimal (m)

Q = Debit (m³/s)

C₁ = Kecepatan mutlak jet (m/s)

Z = Jumlah Nozel

c. Kecepatan Keliling Optimal (U₁)

$$U_1 = K_u \sqrt{2 \times g \times H_n}$$

$$U_1 = 0,48 \sqrt{2 \times 9,81 \text{ m}^2/\text{s} \times 141,24 \text{ m}}$$

$$U_1 = 25,26 \text{ m/s}$$

Keterangan:

U₁ = kecepatan keliling optimal (m/s)

K_u = Koefisien keliling optimal (0,45 – 0,49)

g = Gravitasi

H_n = Head net (m)

d. Diameter Lingkaran Tusuk (Dlt)

Untuk menghitung diameter lingkaran tusuk (dlt) dapat menggunakan rumus berikut.

$$Dlt = \frac{60 \times u_1 \times i}{\pi \times n_g}$$

$$Dlt = \frac{60 \times 25,26 \text{ m/s} \times 1}{3,14 \times 1500}$$

$$Dlt = 0,321 \text{ m}$$

$$Dlt = 321 \text{ mm}$$

Keterangan :

Dlt = Diameter lingkaran tusuk (mm)

u_1 = Kecepatan keliling optimal (m/s)

i = Angka perbandingan putaran

n_g = Putaran generator (rpm)

e. Jumlah Mangkuk (z)

Jumlah mangkuk optimal dihitung dengan persamaan berikut:

$$z = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot d} + 15$$

$$z = \frac{3,14 \times 321}{2 \times 15} + 15$$

$$z = 48,59$$

$$z = 48 \text{ buah}$$

➤ Lebar Mangkuk, $b = (2,5 \sim 3,2)d$

$$b = (2,5)150 \text{ mm} = 375 \text{ mm}$$

➤ Tinggi Mangkuk, $h = (2,1 \sim 2,7)d$

$$h = (2,1)150 \text{ mm} = 315 \text{ mm}$$

➤ Lebar Bukaannya Mangkuk, $a = (1,2)d$

$$a = (1,2)150 \text{ mm} = 180 \text{ mm}$$

➤ Kedalaman mangkuk, $t = 0,9.d$

$$t = (0,9)150 \text{ mm} = 135 \text{ mm}$$

➤ Kelonggaran cetakan mangkuk, $k = (0,1\sim 0,7)D$

$$k = (0,1)321 \text{ mm} = 32,1 \text{ mm}$$

f. Diameter Luar *Runner*

Diameter luar *runner* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$D_o = D + 1.2 h$$

$$D_o = 321 \text{ mm} + 1.2 (315 \text{ mm})$$

$$D_o = 699 \text{ mm}$$

Keterangan:

D_o = Diameter luar Runner (mm)

D = Diameter Lingkaran tusuk (Dlt)(mm)

h = Tinggi mangkuk (mm)

4.3.3 Perhitungan Daya yang Dapat Dibangkitkan

Pada penelitian ini tinggi jatuh air kotor adalah 150 meter. Untuk mencari tinggi jatuh efektif maka tinggi jatuh tersebut dikurangi dengan rugi-rugi kehilangan tinggi pada pipa pesat. Didapatkan tinggi jatuh 141,24 m. Persamaan untuk mencari daya listrik teoritis yang dibangkitkan karena perbedaan tinggi adalah sebagai berikut :

$$P = g \times Q \times Hn$$

$$P = 9,81 \text{ m}^2/\text{s} \times 1,0 \text{ m}^3/\text{s} \times 141,24 \text{ m}$$

$$P = 1385 \text{ kW}$$

Apabila diasumsikan :

Efisiensi turbin (η_t) = 0.85

Efisiensi generator (η_g) = 0.95

Maka daya listrik yang dibangkitkan dihitung dengan persamaan:

$$P = Q_d \times g \times H_n \times \eta_t \times \eta_g$$

$$P = 1,0 \text{ m}^3/\text{s} \times 9,81 \text{ m}^2/\text{s} \times 141,24 \text{ m} \times 0,85 \times 0,95$$

$$P = 1118 \text{ kW}$$

Keterangan :

P = Daya (kW)

Q_d = Debit rencana (m^3/s)

g = Gravitasi (m^2/s)

H_n = Tinggi jatuh bersih (m)

η_t = Efisiensi turbin (0,85)

η_g = Efisiensi generator (0,95)

4.3.4 Perbandingan Data Awal dan Data Perencanaan

Tabel 4.10 Perbandingan Data awal dan Data Perencanaan

No.	KETERANGAN	DATA AWAL	DATA PERENCANAAN
1.	Debit air	0.16 m^3/s	1.0 m^3/s
2.	Tinggi Jatuh (<i>Head</i>)	35 m	150 m
3.	Pipa Pesat (<i>penstock</i>) a. Diameter pipa b. Panjang pipa	500 mm 40 m	600 mm 600 m
4.	Turbin a. Jenis Turbin b. Diameter runner	Crossflow 300 mm	Pelton 699 mm
5.	Daya	40 KW	1118 KW
6.	Transmisi	Dengan Pully	Dengan Kopling
7.	Generator a. Jenis generator b. Kapasitas	<i>Synchronous</i> 50 KVA	Synchronous 1250 KVA
8.	Sistem Kontrol	ELC	ELC

Dari Tabel 4.9 diatas dapat dilihat perbandingan dari data awal PLTMH dengan data perencanaan penambahan daya secara teoritis adalah sebesar 1078 kW.

4.3.5 Pemilihan Generator

Pada penelitian ini besar daya terbangkitkan sekitar 1118 kW. Mengacu pada buku pedoman Studi Kelayakan Mekanikal-Elektrikal, dengan memperhatikan rugi-rugi generator serta untuk menjamin kinerja generator maka diperlukan faktor keamanan minimal 25% dari daya terbangkitkan. Maka kapasitas generator yang dipilih adalah 1250 kVA. Sistem kontrol yang direncanakan menggunakan Electronic Load Controller (ELC) yang menyatu dengan kontrol panel dan sebagai penyeimbang beban digunakan ballast load air heater dengan kapasitas 60% dari daya generator.

4.3.6 Pemilihan Transmisi

Pada perencanaan ini desain transmisi mekanik menggunakan sitem transmisi langsung (*direct*) yaitu menggunakan *coupling* karena daya yang dihasilkan turbin sama dengan generator, yaitu sebesar 1118 kW.

4.3.7 Jaringan Transmisi dan Distribusi

1. Kabel Penghantar

Kabel penghantar digunakan untuk mentransmisikan daya listrik yang dibangkitkan digenerator kepada konsumen dirumah-rumah dan pusat beban lainnya. Pada PLTMH transmisi listrik dilakukan pada tegangan rendah (220/380 *Volt*). Kabel transmisi yang digunakan biasanya adalah kabel jenis *twisted* (NFA2X) dengan diameter penghantar 35 mm² atau lebih kecil sesuai dengan panjang transmisi dan besarnya beban yang ditransmisikan. Kawat pegahantar transmisi

daya listrik 3 fasa, kabel ukuran 35 mm². Ukuran 35 mm² sebagai penghantar fasa (R, S, T) dan 25 mm² sebagai penghantar netral/nol.

2. Tiang Listrik

Tiang listrik digunakan untuk menyangga dan menarik kabel penghantar supaya menjaga jarak aman dari tanah dan tidak mengganggu lalu lintas manusia dan barang dibawahnya. Tiang listrik yang dipakai harus kuat menyangga beban kabel, beban karena angin dan hujan dan beban tarikan kabel. Untuk itu digunakan material besi yang kuat dan ditanam di dalam tanah, Untuk transmisi tegangan rendah, tiang listrik yang digunakan memiliki ketinggian minimum 7 meter, melihat medan lapangan yang bergelombang.

3. Transformator

Pada perencanaan ini dibutuhkan satu unit trafo step up sebesar 150 KV yang berada pada rumah pembangkit (*power house*) dan satu unit trafo step down sebesar 150 KV yang berada pada tiang distribusi.

4. Instalasi Rumah

Instalasi rumah biasanya terdiri dari 7 titik lampu dan 4 stop kontak. Pembatas arus menggunakan MCB 4 *Ampere* untuk daya 920 *Watt* dan 2 *Ampere* untuk daya 450 *Watt*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan pada penelitian ini maka dapat disimpulkan :

1. Berdasarkan hasil pengukuran langsung di Sungai Lau Simalem diperoleh debit rata – rata $1.298 \text{ m}^3/\text{s}$, untuk debit desain ideal merupakan kurang dari debit rata-rata , sehingga debit desain sebesar $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ dan *head nett* (efektif) adalah 141,24 m.
2. Dari perhitungan yang dilakukan maka jenis pipa pesat yang dipilih adalah berbahan *Mild Steel* (Baja Ringan) dengan panjang pipa pesat 600 m ,diameter pipa yaitu 600 mm dan dengan ketebalan 12,7 mm.
3. Dari perhitungan yang dilakukan turbin air yang dipilih adalah Turbin Pelton menggunakan transmisi langsung (*coupling*) dengan dimensi-dimensi utama Turbin Pelton, yaitu :
 - a. Diameter lingkaran tusuk 321 mm.
 - b. Diameter jet optimal 150 mm dengan 1 nozel.
 - c. Diameter luar *runner* 699 mm.
 - d. Jumlah Mangkuk 48 buah.
4. Dari debit dan *head* pada penelitian ini, maka daya generator yang dapat dibangkitkan oleh PLTMH Pola Tebu secara teoritis adalah 1118 kW. Besar daya yang dapat di tambahkan adalah sebesar 1078 kw dari daya yang sudah ada pada PLTMH yang lama.

5. Kapasitas generator sinkron 3 fasa yang digunakan untuk perencanaan adalah 1250 kVA dengan Sistem kontrol beban yang digunakan adalah Electronic Load Controller (ELC).

5.2 Saran

Dari penelitian mengenai perencanaan penambahan kapasitas daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Pola Tebu maka peneliti memberikan saran sebagai berikut:

1. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik Desa Pola Tebu, diharapkan dilakukan penambahan kapasitas PLTMH.
2. Untuk menjaga kontinuitas debit air dimusim kemarau, diharapkan menjaga kelestarian di hutan disepanjang daerah aliran Sungai Lau Simalem.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar,A. dan Susmu Kuwahara. 2000. Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid I. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Bahri, s. (2019). Optimasi cluster k-means dengan modifikasi metode elbow untuk menganalisis disrupsi pendidikan tinggi.
- Dandekar, M.M dan K.N Sharma. 1991. Pembangkit Listrik Tenaga Air. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Diantoro, m., maftuha, d., suprayogi, t., iqbal, m. R., mufti, n., taufiq, a., ... & hidayat, r. (2019). Performance of pterocarpus indicus willd leaf extract as natural dye tio2-dye/ito dssc. Materials today: proceedings, 17, 1268-1276.
- Eisenring , M. 1994. Turbin Pelton Mikro, terjemahan Sunarto, Edy. M. Jakarta
- Firmansyah,rizal.2015.Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Gunung Sawur unit 3 Lumajang. Malang :Universitas Brawijaya.
- Hamdani, h., tharo, z., & anisah, s. (2019, may). Perbandingan performansi pembangkit listrik tenaga surya antara daerah pegunungan dengan daerah pesisir. In seminar nasional teknik (semnastek) uisu (vol. 2, no. 1, pp. 190-195).
- Hariyanto, e., iqbal, m., siahaan, a. P. U., saragih, k. S., & batubara, s. (2019, march). Comparative study of tiger identification using template matching approach based on edge patterns. In journal of physics: conference series (vol. 1196, no. 1, p. 012025). Iop publishing.
- Harvey, Adam. 1993. Micro-Hydro Design Manual. London : *Intermediate Technologi Publications*.
- Kurniawan, A, dkk. 2009. Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi. Jakarta: *Integrated Microhydro Development and Application Program*.
- Lubis, a., & batubara, s. (2019, december). Sistem informasi suluk berbasis cloud computing untuk meningkatkan efisiensi kinerja dewan mursyidin tarekat naqsyabandiyah al kholidiyah jalaliyah. In prosiding simantap: seminar nasional matematika dan terapan (vol. 1, pp. 717-723).

- Putra, randi rian, et al. "decision support system in selecting additional employees using multi-factor evaluation process method." (2019).
- Putra, randi rian. "sistem informasi web pariwisata hutan mangrove di kelurahan belawan sicanang kecamatan medan belawan sebagai media promosi." jurnal ilmiah core it: community research information technology 7.2 (2019).
- Rahmaniar, r. (2019). Model flash-nr pada analisis sistem tenaga listrik (doctoral dissertation, universitas negeri padang).
- Saleh Simamora, Muhammad.2010.Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton. Riau: Universitas Pasir Pengaraian.
- Sidik, a. P., efendi, s., & suherman, s. (2019, june). Improving one-time pad algorithm on shamir's three-pass protocol scheme by using rsa and elgamal algorithms. In journal of physics: conference series (vol. 1235, no. 1, p. 012007). Iop publishing.
- Steward Poea. C, dkk.2013. Perencanaan Turbin Air Mikro Hidro Jenis Pelton Untuk Pembangkit Listrik Di Desa Kali Kecamatan Pineleng Dengan head 12 Meter.Manado:Universitas Sam Ratulangi.
- Sulistianingsih, i., suherman, s., & pane, e. (2019). Aplikasi peringatan dini cuaca menggunakan running text berbasis android. It journal research and development, 3(2), 76-83.
- Tasril, v., wijaya, r. F., & widya, r. (2019). Aplikasi pintar belajar bimbingan dan konseling untuk siswa sma berbasis macromedia flash. Jurnal informasi komputer logika, 1(3).
- Wijaya, rian farta, et al. "aplikasi petani pintar dalam monitoring dan pembelajaran budidaya padi berbasis android." rang teknik journal 2.1 (2019).