STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) DI SUNGAI MANCINGAN PEKON SEDAYU KECAMATAN SEMAKA KABUPATEN TANGGAMUS PROVINSI LAMPUNG

(Skripsi)

Oleh: YONANDA AZIS SAPUTRA 1415021093



PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021

ABSTRACT

STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) DI SUNGAI MANCINGAN PEKON SEDAYU KECAMATAN SEMAKA KABUPATEN TANGGAMUS PROVINSI LAMPUNG

Oleh YONANDA AZIS SAPUTRA

The purpose of this research to determine the debit, water head, turbine type and turbine dimensions. Location of the research is in the Mancingan River in sedayu village western Lampung Regency particularly the sub-District Semaka from December 2020 to April 2021. Process analysis using primary data in the form of a cross section of the river cross-section of data and flow velocity of Mancingan River, than secondary data from the real tme of rainfall in sub-District Semaka from 2016 to 2020 and watershed area derived from Geographic Information System. Analysis starts from formation of spatial data maps of Way Semaka watershed, Way Besai watershed and Mancingan watershed using ArcGis program. Reaearch method includes regionalization Way Semaka watershed and Way Besai watershed estimation the dependable discharge using FDC method, measure discharger calculation of Mancingan River, correlation between discharge FDC method and measured discharge and calculate the electric pwer which can be generated. Using measured discharge recorded in Way Semaka and Mancingan River, This is evidenced by the amount of discharge calculated by the method of Flow Duration Curve is not much different from the magnitude of the discharge measure in the field. FDC Method (Flow Duration Curve) to Mancingan River is 0,14 (m³/sec), while the measure discharge in location of Mancingan River is 0,22 (m³/sec). From the calculation of electric power in Mancingan River by using dependable of dischage 50% ($Q_{50\%}$) of 0,297 m³/s it is obtained the electricity power with an efficiency of 60% is 12,38 kW and while the electric power with an efficiency of 90% is 18,57 kW. Therefore Mancingan River is potential for micro hidro power plants.

Keywords: Watershed, MPH, FDC

ABSTRAK

STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) DI SUNGAI MANCINGAN PEKON SEDAYU KECAMATAN SEMAKA KABUPATEN TANGGAMUS PROVINSI LAMPUNG

Oleh YONANDA AZIS SAPUTRA

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui debit, head air, jenis turbin dan dimensi turbin. Penelitian ini dilakukan di Sungai Mancingan Pekon Sedayu Kecamatan Semaka pada bulan Desember 2020 dan April 2021. Proses analisa menggunakan data primer berupa data potongan melintang sungai dan kecepatan aliran Sungai Mancingan, data sekunder berupa data curah hujan Kecamatan Semaka 2016 hingga 2020 dan data luasan DAS berasal dari sistem informasi Geografis. Analisis dimulai dari pembentukan data spasial peta DAS Way Semaka, way besai dan Sungai Mancingan dengan menggunakan program ArcGIS, melakukan regionalisasi data DAS Way Semaka dan Way Besai untuk memperkirakan debit andalan dengan menggunakan metode FDC (Flow Duration Curve), menghitung debit terukur pada Sungai Mancingan, melihat hubungan antara debit metode FDC dan debit terukur serta daya listrik yang dapat dibangkitkan. Dari hasil analisis metode rigionalisasi dapat digunakan untuk memperkirakan debit Way Semaka dan sungai Mancingan, hal ini dibuktikan dengan melihat besarnya debit yang dihitung dengan metode FDC tidak jauh berbeda dengan debit terukur pada sungai Mancingan. Metode FDC (Flow Duration Curve) untuk sungai Mancingan sebesar 0.14 m³/s sedangkan debit terukur di lokasi Sungai Mancingan sebesar $0.22 \text{ m}^3/\text{s}$. Dari hasil perhitungan daya listrik Sungai Mancingan dengan menggunakan debit rencana 50% ($Q_{50\%}$) 0,297m³/s daya listrik yang dapat dibangkitkan dengan efisiensi 60% sebesar 12,38 kW dan dengan efisiensi 90% sebesar 18,57 kW. Dengan demikian Sungai Mncingan berpotensi untuk dijadikan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

Keywords: PLTMH, DAS, FDC

STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) DI SUNGAI MANCINGAN PEKON SEDAYU KECAMATAN SEMAKA KABUPATEN TANGGAMUS PROVINSI LAMPUNG

Oleh

YONANDA AZIS SAPUTRA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar SARJANA TEKNIK

Pada

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG



PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021

Judul

STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) DI SUNGAI MANCINGAN PEKON SEDAYU KECAMATAN SEMAKA KABUPATEN TANGGAMUS PROVINSI LAMPUNG

Nama Mahasiswa

: Yonanda Azis Saputra

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1415021093

Program Studi/Jurusan

: Teknik Mesin

Fakultas

IS LAMPUNG

: Teknik

Menyetujui

1. Komisi Pembimbing

Agus Sugiri, S.T., M.Eng NIP 19700804 199803 1 003

A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng NIP 19610921 198703 1 003

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Amrul, S.T., M.T. NIP 19710331 199903 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua Penguji

Agus Sugiri, S.T., M.Eng.

Anggota Penguji

: A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.

Penguji Utama

: Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T.

July

kan Fakultas Teknik

Prod Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 16 Juni 2021

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN REKTOR NO. 13 TAHUN 2019.

YANG MEMBUAT MERNYATAAN

METERAT TEMBER CU75AAJX446427436

> YONANDA AZIS SAPUTRA NPM. 1415021093

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Terbanggi Besar pada tanggal 27 Juni 1995. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Muhammad Syafei dan Ibu Islamiyah. Penulis telah menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) di TK Islam Terpadu pada tahun 2002, pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Islam Terpadu

Bustanul Ulum Terbanggi Besar pada tahun 2008, pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Islam Terpadu Bustanul Ulum Terbanggi Besar lulus pada tahun 2011, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA N 1 Terusan Nunyai lulus pada tahun 2014. Penulis diterima di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2014 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Semasa kuliah di Universitas Lampung, penulis pernah aktif sebagai anggota bidang Kerohanian pada organisasi HIMATEM periode 2014/2015. Pada tahun 2017, penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Great Giant Foods Terbanggi Besar Lmpung Tengah. Pada tahun 2018 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Sumberjo Kecamatan Way Jepara Kabupaten Lampung Timur.

SANWACANA

Bismillahirrohmanirrohim

Alhamdullilahirobbil'alamin, rasa syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Sungai Mancingan Pekon Sedayu Kecamatan Semaka Kabupaten Tanggamus Provinsi Lampung" ini dengan baik. Banyaknya pihak yang memberikan sumbangsih dukungan, bimbingan, nasihat serta doa ,sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Oleh sebab itu dengan segala hormat, penulis mengucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada:

- Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- Dr. Amrul. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
- 3. Agus Sugiri, S.T., M.Eng. sebagai pembimbing pertama, yang memberikan bimbingan, saran, pengarahan, motivasi, kritik dan nasihat kepada penulis hingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
- 4. A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng. sebagai pembimbing kedua, yang memberikan bimbingan, saran, pengarahan, motivasi, kritik dan nasihat kepada penulis hingga dapat menyelesaikan skripsi ini.

- Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T. selaku Penguji Bukan Pembimbing, yang telah memberikan saran, arahan, kritik dan masukan untuk perbaikan skripsi.
- 6. Novri Tanti, S.T., M.T. Selaku Ketua Program Studi, atas bimbingan, petunjuk, saran dan arahan, selama penulis menjadi mahasiswa.
- Seluruh dosen di Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu pengetahuan, dan pengalaman selama penulis menjadi mahasiswa Universitas Lampung.
- 8. Seluruh karyawan dan Admin di Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu memperlancar proses administrasi serta pengertiannya.
- 9. Keluargaku tercinta ayah dan ibu penulis Muhammad Syafei dan Islamiyah, kedua adikku Yolanda Nabila dan Akhdan Ahmad serta Rizka Esty Wulandari yang telah memberikan dukungan, doa dan bantuan hingga tercapainya gelar Sarjana Teknik bagi penulis.
- 10. Sahabat dan rekan seluruh rekan seperjuangan Teknik Mesin 2014 yang lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan doa, semangat, dan dukungan.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang terbaik atas segala dukungan, bimbingan, nasihat serta doa. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak terlepas dari kesalahan, Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat. Aamiin

Bandar Lampung, Agustus 2021 Penulis

Yonanda Azis Saputra

DAFTAR ISI

		Halaman		
HA	LA	MAN SAMPUL		
AB	STR	PAK i		
HA	LA	MAN JUDUL iii		
LE	MB	AR PERSETUJUAN iv		
LEMBAR PENGESAHAN v				
PERNYATAAN PENULISvi				
RI	WA	YAT HIDUPvii		
SA	NW.	ACANAviii		
DA	FTA	AR ISI x		
DA	FTA	AR TABELxiii		
DA	FTA	AR GAMBARxiv		
_				
I.		NDAHULUAN		
	Α.			
	В.	Tujuan Penelitian		
	C.	Batasan Masalah		
	D.	Sistematika Penelitian		
II.	TI	NJAUAN PUSTAKA		
	A.	Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)		
		Keuntungan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro 7		
		2. Prinip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro 8		
		3. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro 8		
	B.	Turbin Air		
		1. Turbin Implus		
		2. Turbin Reaksi		
	C.	Kriteria Pemilihan Jenis Turbin		
		1. Berdasarkan Arah Aliran AirMasuk Keluar <i>Runner</i>		
		2. Berdasarkan Kecepatan Spesifik		
		2 Pardasarkan Nat Haad dan Dahit		

	D.	Daya Yang dibangkitkan Turbin	29
	E.	Perancangan Dimensi Turbin	32
	F.	Analisis Hidrologi	37
117	7. 67	ETODE DENIEL PULAN	
Ш.		ETODE PENELITIAN	20
		Data Penelitian	
		Waktu dan Tempat Penelitian	
		Alat dan Bahan	
		Tahap Penelitian	
		Metode Pengumpulan Data	
	F.	Metode Pengolah Data	
	G.	Diagram Alir Metode Penelitian	48
IV.	HA	ASIL DAN PEMBAHASAN	
	A.	Debit dan <i>Head</i>	49
		1. Debit Sungai (Metode benda apung)	49
		2. Data <i>Head</i>	52
	B.	Kriteria Jenis Turbin	56
		Daya yang dibangkitkan Turbin	56
		2. Kecepatan Spesifik	56
	C.	Analisis Data Spasial	59
	D.	Perhitungan Debit Rancangan dengan Metode FDC	61
	E.	Perbandingan Debit Metode FDC dengan Debit Terukur	64
	F.	Perhitungan Daya Listrik	66
	G.	Dimensi Turbin	67
		Rancangan Dimensi Turbin	67
		2. Desain <i>Runner</i> Turbin	68
		3. Panjang Busue	70
		4. Jumlah Sudu	73
		5. Ketebalan Sudu	74
		6. Panjang Roda Jalan	75
		7. Pipa Pancar (<i>Nozzle</i>)	75

	8. Poros	76		
	9. Pasak	78		
V. SI	MPULAN DAN SARAN			
A.	Simpulan	80		
B.	Saran	81		
DAFT	AR PUSTAKA			
LAMPIRAN				

DAFTAR TABEL

TABEL Hala		
1.	Data Konsumsi Listrik Nasional Tahun 2015-2020	
2.	Kecepatan Spesifik Turbin Konvensional	
3.	Aplikasi Penggunaan Turbin berdasarkan <i>Head</i>	
4.	Kecepatan Benda Apung	
5.	Kedalaman Sungai	
6.	Perhitungan Debit aliran metode <i>current meter</i>	
7.	Head Gross	
8.	Nilai yang diperlukan Untuk Membentuk Turbin	
9.	Pembangkit Listrik Berdasarkan Daya	
10.	Aplikasi Penggunaan Turbin berdasarkan Tinggi <i>Head</i>	
11.	Kecepatan Spesifik Turbin	
12.	Perhitungan Flow Duration Curve DAS Way Besai	
13.	Flow Duration Curve DAS Way Semaka	
14.	Nilai debit untuk Way Semaka dan Sungai Mancingan	
15.	Perbandingan debit FDC dan Terukur	
16.	Perhitungan Daya Listrik	
17.	Data Desain HasilPerhitungan Dimensi Turbin	

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halama		
1.	Sungai Mancingan Pekon Sedayu Kecamatan Semaka	
2.	Komponen PLTMH	
3.	Turbin Pelton	
4.	Turbin Turgo	
5.	Turbin Crossflow	
6.	Turbin Francis	
7.	Turbin Kaplan	
8.	Turbin Aliran Tangensial	
9.	Turbin Aliran Aksial	
10.	Turbin Aliran Aksial-Radial	
11.	Jenis Pelampung	
12.	. Current Meter27	
13.	Mode Satu Titik	
14.	Mode Dua Titik	
15.	Segitiga Kecepatan Lintasan Air Melewati Turbin	
16.	Selang Plastik	
17.	Tongkat Ukur	
18.	Meteran41	
19.	Stopwatch 41	
20.	Styrofoam 41	
21.	. Current Meter	
22.	Cara Mengukur Permukaan Air dengan Posisi Forbay	
23.	Pengukuran dari Titik Tinggi ke Titik Rendah	
24.	Jumlah dari Hasil Pengukuran Seluruhnya	
25.	Membagi dalam Berbagai Segmen	

26. Diagram Alir Metode Penelitian	48
27. Metode Trapesium	50
28. Pengukuran Ketinggian Metode Selang Waterpass	52
29. Rangkaian Pipa PLTMH	54
30. DAS Way Semaka	59
31. DAS Way Besai	60
32. DAS Sungai Mancingan Pekon Sedayu	60
33. Flow Duration Curve DAS Way Besai	62
34. Flow Duration Curve DAS Way Semaka	64
35. Flow Duration Curve DAS Sungai Mancingan	64
36. Data Curah Hujan Bulanan	66
37. Segitiga Kecepatan Lintasan Air Melewati Turbin	67
38. Konstruksi Geometri Sudu	73
39. Jarak Antar Sudu	74

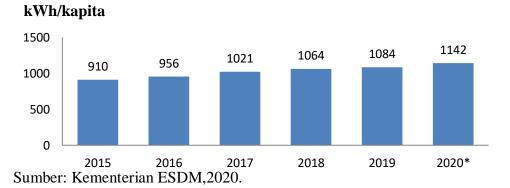
I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja, dalam sebuah energi terdapat usaha dan gerakan. Energi juga dapat dikatakan sebagai tenaga. Hukum kekekalan energi menjelaskan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, akan tetapi energi dapat berubah dari suatu bentuk ke bentuk lainnya,

Energi listrik menjadi salah satu kebutuhan yang harus terpenuhi dalam kehidupan manusia. Peningkatan konsumsi listrik tersebut didorong oleh tingginya pertumbuhan ekonomi maupun penduduk di Indonesia. Menurut BPS (2019) pertumbuhan ekonomi mencapai 5.02% dan pertumbuhan penduduk mencapai 267 juta jiwa dan akan di proyeksikan meningkat menjadi 269 juta jiwa pada tahun 2020. Adapun data konsumsi listrik di Indonesia tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Konsumsi Listrik Nasional Tahun 2015-2020



Berdasarkan data diatas, konsumsi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan. Sayangnya, peningkatkan konsumsi listrik tersebut tidak diimbangi dengan ketersediaan energi fosil yang saat ini kian menipis. Permasalahan tersebut diatasi pemerintah dengan melakukan pengembangan energi alternatif berupa energi terbarukan. Menurut Wahyudi dan Irsyad (2018) energi terbarukan adalah energi non fosil yang berasal dari alam dan dapat diperbaharui dan jika dikelola dengan baik, sumber daya tersebut tidak akan habis. Adapun energi terbarukan seperti energi biomassa, energi surya, energi air, energi panas bumi, energi angin dan energi laut.

Lampung merupakan salah satu Provinsi di Indonesia yang sebagian besar kebutuhan listriknya dipenuhi oleh PT. PLN (persero), dimana jumlah pelanggan listrik mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Pada tahun 2018 pelanggan listrik mencapai 2.086.988 pelanggan. Dari total 21 rayon yang ada, PT. PLN (persero) mampu melayani kebutuhan listrik dengan total nilai produksi sebesar 4.257.151.965 Kwh dengan nilai penjualan sebesar Rp. 4.662.509.509.651 (BPS,2019).

Energi listrik yang dapat dikembangkan di pedesaan salah satunya berasal dari pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) menjadi pilihan alternatif. Menurut Dwiyanto (2016) PLTMH adalah pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggeraknya seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. PLTMH merupakan suatu implementasi dari *Green Energi Initative* yaitu mendorong energi terbarukan, efisiensi

energi dan energi bersih. Program pembangunan PLTMH bertujuan untuk mendorong kegiatan ekonomi masyarakat terutama di lokasi yang potensial namum belum dioptimalkan. Adapun beberapa keunggulan yang dimiliki PLTMH yaitu bersih lingkungan, tidak konsumtif, lebih awet, perawatan mudah serta biaya oprasionalnya yang lebih murah (Doda dan Mohammad,2018).

Di Provinsi Lampung terdapat banyak sungai yang memiliki potensi energi air cukup besar namun dalam pemanfaatannya belum maksimal dikarenakan kurangnya pengetahuan dan kemauan dari masyarakat sekitar. Maka dari itu, sudah selayaknya sungai dikembangkan untuk memenuhi energi listrik yang murah dan ramah lingkungan serta energinya tidak akan habis seperti yang terdapat di Sungai Mancingan Pekon Sedayu Kecamatan Semaka Kabupaten Tanggamus.



Gambar 1. Sungai Mancingan Pekon Sedayu Kecamatan Semaka

Pada pelaksanaan studi kelayakan sumber energi listrik terbarukan dan pemanfaatannya, penulis tertarik untuk mengkaji potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang ada di Sungai Mancingan di Pekon Sedayu, Kecamatan Semaka, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilaksanakannya penelitian di Sungai Mancingan Pekon Sedayu adalah sebagai berikut :

- 1. Mengetahui debit dan *head* air di Sungai Mancingan.
- 2. Menentukan jenis turbin air yang sesuai dengan kondisi *head* dan debit air Sungai Mancingan.
- Merancang dimensi turbin berdasarkan head dan debit air yang diperoleh.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Pengambilan data head dilakukan secara langsung dengan ketersedian aliran dan debit yang ada di Sungai Mancingan.
- 2. Gesekan air di tepi Sungai pada pengukuran kecepatan laju air diabaikan.
- 3. Studi potensi ini hanya menentukan jenis turbin sampai desain turbin hasil perancangan.
- 4. Rancangan dimensi turbin berdasarkan *head* dan debit yang diperoleh.
- 5. Tidak membahas pemilihan jenis material dalam perancangan turbin.
- 6. Penentuan Debit andalan hanya menggunakan metode FDC.

D. Sistematika Penelitian

I. PENDAHULUAN

Pada bab ini meguraikan latar belakang, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

5

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menguraikan tinjuan pustaka atau rujukan yang akan

dijadikan sebagai landasan teori dan memperdalam pemahaman masalah

dalam melakukan penelitian.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang langkah, alat dan bahan apa saja yang

akan digunakan dalam penelitian ini guna mendapatkan hasil yang

diharapkan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menguraikan hasil dan pembahasan yang diperoleh selama

melakukan penelitian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini memberikan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah

dilakukan serta memberikan saran bagi peneliti lain untuk dapat

menyempurnakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

SARAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi aliran air (hidro) skala kecil seperti saluran irigasi, sungai kecil atau air terjun dengan kapasitas pembangkitan sangat kecil (mikro) yaitu kurang dari 100 kW. Mikro hidro mempunyai tiga kompenen utama yaitu air sebagai sumber energi, turbin yang berguna untuk merubah gerak translasi dari air menjadi gerak rotasi dan generator yang berguna mengkonversikan energi mekanik dari putaran turbin menjadi energi listrik.

PLTMH merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat disebut clean energi karena ramah lingkungan. Dari segi lingkungan hidup, teknologi ini memiliki dampak positif dalam penghematan energi dan menjaga kelestarian lingkungan hidup karena mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang berdampak negatif pada polusi udara, hujan asam, dan efek rumah kaca. Dari sudut pandang kepentingan lingkungan, pembangunan PLTMH dapat menjadi perekat hubungan positif antar alam dan masyarakat dalam maningkatkan kesadaran masyarakat agar secara swadaya mandiri bersedia menjaga dan melestarikan alam sekitar tempat tinggal.

Aliran sungai yang layak untuk dijadikan sebagai sumber energi penggerak pada Mikrohidro adalah aliran sungai yang mengalir sepanjang tahun (perennial stream), dimana debit musim kemarau dan musim penghujan yang relative stabil atau tidak fluktuatif dengan aliran sungai yang tidak terlalu besar namun mempunyai kemiringan (gradient) sungai yang layak sebagai lokasi pembangunan mikrohidro. Dalam pembangunan PLTMH, karakter utama aliran sungai yang paling berpengaruh adalah debit aliran (liter/detik) dan kemiringan sungai (gradient).

Menurut Nugroho (2015) Mikrohidro adalah pembangkit listrik yang paling sederhana yang mengandalkan kontinuitas ketersediaan air dan beda ketinggian. Beda tinggi dibuat dengan membuat saluran dari titik pengambilan (*intake*) menyusuri tebing/pinggiran sungai menuju titik tertentu yang menghasilkan beda ketinggian yang dikehendaki.

1. Keuntungan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Keuntungan menggunakan pembangkit listrik tenaga mikrohidro dari segiefisiensinya adalah sebagai berikut :

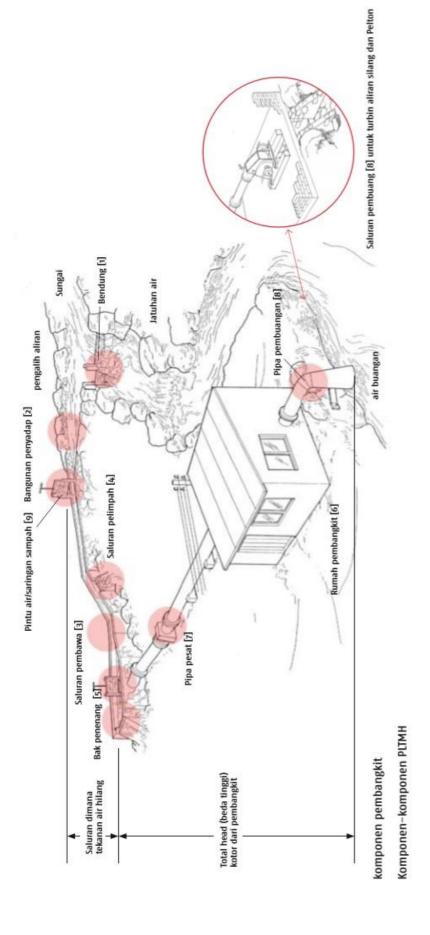
- a. PLTMH murah karena menggunakan energi alam.
- Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di berbagai tempat.
- c. Tidak menimbulkan pencemaran.
- d. Teknologi yang ramah lingkungan, handal serta kokoh dapat beroperasi lebih dari 15 tahun.
- e. Termasuk energi baru terbarukan.

2. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit listrik tenaga air skala mikro adalah dengan memanfaatkan beda ketinggian jatuhnya air serta jumlah debit air yang mengalir setiap detiknya pada aliran air seperti sungai, saluran irigasi ataupun air terjun. Aliran air ini akan menggerakkan poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator kemudian generator akan merubah energi gerak menjadi energi listrik. Sekema mikrohidro membutuhkan dua hal yaitu, debit air dan beda ketinggian air (head) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) kedalam bentuk energi mekanik dan energi listrik. (Donald,1994).

3. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Menurut Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi, (2009) Komponen pembangkit listrik tenaga mikrohidro terdiri dari bendungan, bangunan penyadap, bak pengendap, pintu air, sluran pembawa, bak penenang, pipa pesat, turbin air dan generator yang akan di jabarkan dalam penjelasan berikut.



Gambar 2. Komponen PLTMH

a. Bendungan (Weir)

Bendungan ini digunakan untuk mengalihkan aliran air atau sebagai penghalang aliran air agar tinggi muka air sungai naik untuk menampung air sungai yang selanjutnya akan diteruskan pada bangunan penyadap (*intake*).

b. Bangunan Penyadap (*intake*)

Bangunan penyadap ini digunakan untuk masuknya air dari sungai menuju saluran pembawa yang dilengkapi dengan penghalang sampah.

c. Bak Pengendap

Bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air, bak pengendap ini sangat penting untuk melindungi komponen-komponen turbin dari dampak pasir.

d. Pintu air atau saringan sampah

Pintu air atau saringan sampah digunakan untuk mengatur debit air dan sebagai penyaring sampah plastik ataupun daun.

e. Saluran Pembawa (*Headrace*)

Saluran pembawa berfungsi untuk mengalirkan air dari intake menuju kolam penenang dan juga berfungsi untuk mempertahankan kestabilan debit air.

f. Bak Penenang (Forebay)

Bak penenang berfungsi untuk mengendapkan dan menyaring kembali air agar kotoran tidak masuk dan merusak turbin dan juga berfungsi untuk menenangkan aliran air yang akan masuk ke dalam pipa pesat.

g. Pipa Pesat (Penstock)

Pipa pesat berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang menuju turbin air.

h. Turbin Air dan Generator

Turbin air berfungsi untuk merubah energi potensial fluida menjadi energi mekanik yang selanjutnya dimanfaatkan oleh generator yang berfungsi untuk merubah energi mekanik menjadi energi listrik.

B. Turbin Air

Turbin air adalah sebuah turbin yang fluida kerjanya menggunakan air. Air mengalir dengan beda ketinggian yang menghasilkan daya atau energi potensial yang dialirkan kedalam sebuah pipa sehingga menyebabkan energi potensial berubah menjadi energi kinetik yang digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin yang diperlukan generator untuk menghasilkan energi listrik. Turbin air dibedakan menjadi dua pokok utama, yaitu dilihat dari segi perubahan momentum fluida kerjanya.

1. Turbin Implus

Turbin impuls merupakan turbin air dengan tekanan sama pada setiap sudu geraknya (runner). Energi potensial yang dihasilkan diubah menjadi energi kinetik pada nosel. Air keluar nosel mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu, arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls) yang mengakibatkan roda turbin akan berputar. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Adapun Jenis dari turbin Impuls adalah turbin Pelton, turbin Turgo dan turbin Crossflow.

a. Turbin Pelton

Turbin Pelton merupakan turbin Impuls. Turbin Pelton pertama kali ditemukan oleh insinyur dari Amerika yaitu Lester A. Pelton pada tahun 1880. Turbin pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin ini dioperasikan pada tinggi jatuh air (head) sampai 1800 m, turbin ini relative membutuhkan jumlah air yang lebih sedikit dan biasanya porosnya dalam posisi mendatar. Turbin pelton sering disebut dengan turbin bertekanan sama karena saat mengalir di setiap sudu-sudu turbinnya tidak menimbulkan penurunan tekanan, sedangkan perubahannya terjadi pada bagian pengarah pancaran atau pada nosel, dimana air yang mempunyai energi potensial yang tinggi akan dirubah menjadi energi kinetik. Pancaran air yang keluar dari nosel menumbuk bucket yang dipasang pada setiap runner dan garis pusat pancaran air menyinggung

lingkaran dari pusat bucket. Setelah membentur sudu, sehingga arah kecepatan aliran berubah dan terjadi perubahan momentum (Impuls). Kecepatan keliling dari bucket yang di sebabkan oleh tumbukan yang terjadi tergantung dari jumlah dan ukuran pancaran serta kecepatannya. Kecepatan pancarannya tergantung tinggi air di atas nosel serta efisiensinya.



Gambar 3. Turbin pelton

b. Turbin Turgo

Turbin turgo dapat beroperasi pada head 50 m s/d 250 m. Seperti turbin Pelton turbin Turgo merupakan turbin Impuls, kelebihan dan kekurangan kedua turbin ini pun sama, yang membuat keduanya berbeda ialah bentuk sudu dari masing-masing turbin. Kecepatan putar turbin turgo lebih besar dari turbin Pelton, akibatnya dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan.



Gambar 4. Turbin Turgo

c. Turbin Crossflow

Turbin ini ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903 kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin Banki atau Turbin Michell Ossberger (Haimerl, 1960). Turbin Crossflow dapat dioperasikan pada debit 20 liter/s hingga 10 m3/s dan ketinggian antara 1 m s/d 200 m. Turbin Crossflow menggunakan nosel berbentuk persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar runner. Konversi energi dari energi kinetik menjadi energi mekanis ketika air masuk mengenai sudu. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian keluar turbin, runner turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.

Pemakaian jenis Turbin Crossflow lebih menguntungkan dibanding dengan pengunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro lainnya. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh Ossberger Jerman Barat menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling tinggi sekalipun hanya mencapai 70% sedangkan effisiensi turbin Crossflow mencapai 82% (Haimerl, L.A.,1960). Tingginya effisiensi Turbin Crossflow ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu saat air mulai masuk dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan runner.



Gambar 5. Turbin Crossflow

2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang memanfaatkan energi potensial untuk menghasilkan energi gerak. Sudu yang terdapat di turbin reaksi mempunyai kelemahan yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner dapat berputar. Runner turbin reaksi tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin. Turbin reaksi mengubah energi kinetik juga energi tekanan secara bersamaan menjadi energi mekanik. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai

turbin reaksi, jenis dari turbin ini adalah turbin Francis dan turbin Kaplan.

a. Turbin Francis

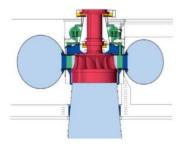
Turbin Francis pertama kali ditemukan sekitar tahun 1950 oleh orang Amerika yang bernama Howk dan Francis. Teknik mengkonversikan energi potensial dirubah menjadi energi mekanik pada roda air turbin melalui proses reaksi sehingga turbin Francis biasa disebut turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air yang memiliki tekanan tinggi di bagian masuk dan air yang bertekanan rendah di bagian keluar. Konstruksi turbin Francis memiliki bagian-bagian penting yang terdiri dari sudu pengarah dan sudu jalan. Perubahan energi terjadi pada sudu pengarah dan sudu gerak yang keduanya terendam oleh air. Air pertama masuk pada terusan berbentuk spiral. Sudu pengarah mengarahkan air masuki turbin secara tangensial. Sudu pengarah yang terdapat pada turbin Francis merupakan suatu sudu pengarah yang tetap dan dapat diatur sudutnya.

Penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan keunggulan yang dimiliki turbin francis yang dapat digunakan berbagai kondisi aliran air. Turbin Francis merupakan jenis turbin bertekanan lebih. Aliran air masuk ke sudu pengarah dengan kecepatan tinggi dengan tekanan yang semakin turun sampai roda jalan, pada roda jalan kecapatan akan naik lagi dan tekanan turun sampai di bawah 1 atm. Untuk menghindari kavitasi, tekanan dinaikan sampai 1 atm dengan

cara melakukan pemasangan pipa hisap. Pengaturan daya yang dihasilkan dengan mengatur posisi pembukaan pada sudu pengarah, sehingga kapasitas air yang masuk ke dalam roda turbin dapat diperbesar atau diperkecil. Turbin Francis dapat dipasang dengan poros posisi vertikal dan horizontal. Turbin ini digunakan untuk tinggi terjun sedang yaitu 20 - 440 meter.

Turbin Francis dapat dibuat dengan kecepatan putar yang tingginya sama, dimana kecepatan putar yang tinggi tersebut menghasilkan keuntungan terhadap berat turbin air dan generatornya. Tidak ada kerugian jatuhnya air akibat adanya ruang bebas. Penentuan turbin Francis di dalam bangunan bawah tanah yang baik dan sangat menguntungkan adalah bila tinggi permukaan air bawah kondisinya berubah-ubah. Efisiensi dari turbin Francis dengan beban penuh cukup baik, tetapi akan memburuk jika bebannya tidak penuh.

Turbin Francis adalah turbin yang paling banyak digunakan. Karena tinggi air jatuh dan kapasitas yang paling sering sesuai dengan kebutuhannya. Dari hasil penggunaan dan penelitian yang terus menerus dilakukan, turbin Francis sekarang dapat digunakan untuk tinggi air jatuh sampai 700m dengan kapasitas air dan kecepatan roda putar yang cukup baik. Kesukaran akan timbul jika air mengandung pasir dan butiran-butiran/pecahan es, karena akan membuat aus roda jalan dan packingnya, bila bagian tersebut sampai aus, maka harus dicari kemungkinan menggantinya tanpa turbin terlalu lama berhenti.



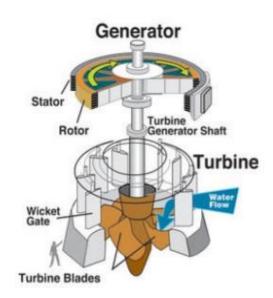
Gambar 6. Turbin Francis

b. Turbin Kaplan

Turbin Kaplan dikembangkan pada tahun 1913 oleh Profesor Austria Viktor Kaplan. Turbin Kaplan merupakan evolusi dari turbin Francis. Tidak berbeda dengan turbin Francis, cara kerja turbin Kaplan menggunakan prinsip reaksi. Turbin ini mempunyai roda jalan berfungsi untuk mendapatkan gaya putar yang dapat menghasilkan torsi pada poros turbin. Berbeda dengan roda jalan yang dimiliki turbin Francis, kunggulan turbin Kaplan ialah sudut sudu geraknya (runner) yang bisa diatur menyesuaikan kondisi aliran ataupun perubahan debit. Dikarenakan turbin ini mempunyai kelebihan dapat menyesuaikan head yang berubah-ubah, maka turbin Kaplan banyak dipakai pada instalasi pembangkit listrik tenaga air sungai. Pada pemilihan turbin didasarkan pada kecepatan spesifiknya, turbin Kaplan ini memiliki kecepatan spesifik yang tinggi (high spesific speed) sehingga ukuran roda turbin lebih kecil dan dapat dikopel langsung dengan generator.

Turbin Kaplan bekerja pada kondisi tinggi jatuh air (*head*) rendah dengan debit yang besar. Pada kondisi beban yang tidak penuh turbin Kaplan mempunyai efisiensi paling tinggi, hal ini dikarenakan sudu-

sudu turbin Kaplan dapat diatur menyesuaikan dengan beban yang ada. Sama seperti persamaan euler, semakin kecil tinggi jatuh air, maka semakin sedikit belokan aliran air pada sudu jalan. Dengan meningkatnya kapasitas air yang masuk ke dalam turbin, maka akan meningkat pula luas penampang salurani airnya. Turbin yang bekerja di kondisi tinggi jatuh air yang berbeda-beda mempunyai kerugian, karena perencanaan sudu turbin yang telah disesuaikan perpindahan energinya yang baik terjadi pada titik normal yaitu pada kondisi kecepatan perbandingan dan tekanan tertentu. Jika terjadi penyimpangan yang besar dari atas maupun bawah, yang terdapat pada pusat tenaga listrik sungai, randamen roda baling-baling turbin akan turun. Keuntungan turbin baling-baling dibandingkan dengan turbin Francis adalah kecepatan putarnya bisa dipilih lebih tinggi, dengan demikian roda turbin bisa dikopel langsung dengan generator dan ukurannya pun lebih kecil.



Gambar 7. Turbin Kaplan

C. Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

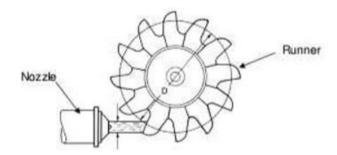
Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan arah aliran air masuk keluar *runner*, kecepatan spesifik aliran air, factor tinggi jatuhan air efektif (*Net head*) dan debit air yang akan digunakan untuk mengoperasikan turbin merupakan faktor utama yang sangat mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh turbin pelton efektif untuk operasi pada tinggi jatuhan air (*head*) tinggi, sementara turbin propeller sangat efektif beroperasi pada tinggi jatuhan air (*head*) rendah. Faktor daya (*power*) yang diinginkan berkaitan dengan tinggi jatuhan air (*head*) dan debit yang tersedia (Ismono, 1999).

Contoh dari sistem transmisi direct couple antara generator dengan turbin pada head rendah, sebuah turbin reaksi (*Propeller*) mampu mencapai putaran yang diinginkan, sementara turbin pelton dan Crossflow berputar sangat rendah (*low speed*) yang menyebabkan sistem tidak beroperasi. Menurut (Keller2,1975) pada dasarnya daerah operasi dari turbin dikelompokkanmenjadi Low head power plant, Medium head power plant dan High head power plant. Pemilihan jenis turbis dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter yang mempengaruhi system operasi turbin yaitu:

1. Berdasarkan Arah Aliran Air Masuk Keluar *Runner*

a. Turbin Aliran Tangensial

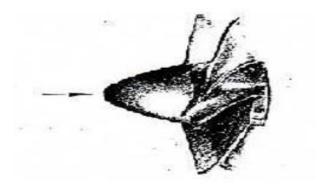
Pada jenis turbin ini posisi air masuk roda gerak dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros runner menghasilkan roda geraknya berputar, contohnya turbin Pelton dan turbin *Cross-flow*.



Gambar 8. Turbin aliran tangensial

b. Turbin Aliran Aksial

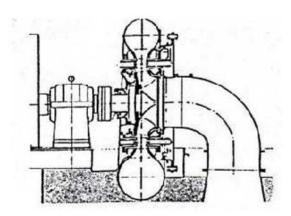
Pada jenis turbin ini air masuk pada roda gerak dan keluar roda gerak sejajar dengan poros roda gerak, turbin Kaplan atau propeller merupakan jenis turbin ini.



Gambar 9. Turbin aliran aksial

c. Turbin Aliran Aksial – Radial

Pada turbin ini air masuk ke dalam roda gerak secara radial dan keluar roda gerak secara aksial sejajar dengan poros. Turbin Francis merupakan jenis turbin ini.



Gambar 10. Turbin aliran aksial- radial

2. Berdasarkan Kecepatan Spesifik (N_s)

Kecepatan spesifikasi (N_s) adalah kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Adapun penentuan dalam perhitungan kecepatan spesifik (N_s) didefinisikan sebagai berikut:

$$Ns = \frac{N\sqrt{P}}{H \ e \ f \ s^{\frac{5}{4}}} \tag{2.1}$$

dimana:

Ns = Kecepatan spesifik turbin (rpm)

N = Kecepatan putaran turbin (rpm)

Hefs = Tinggi jatuh efektif (m)

P = Daya turbin output (Hp)

Output turbin ditentukan dengan persamaan (Fox dan Mc Donald,1994).

$$P = \rho \times Q \times g \times H \times \eta \tag{2.2}$$

dimana:

P = daya turbin (Watt)

 ρ = massa jenis air (kg/m3)

Q = debit air (m3/s)

g = gaya grafitasi (m/s2)

H = head efektif (m)

 η = efisiensi turbin

Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran (*range*) tertentu berdasarkan data eksperimen. Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik masing-masing, tabel 2 menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin kovensional.

Tabel 2. Kecepatan Spesifik Turbin Konvensional

No	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifikasi
1	Pelton dan kincir air	$10 \le Ns \le 35$
2	Francis	$60 \le \mathrm{Ns} \le 300$
3	Cross-Flow	$40 \le \mathrm{Ns} \le 200$
4	Kaplan dan propeller	$250 \le Ns \le 1000$

(Penche, C, 1998)

Dengan mengetahui kecepatan spesifik turbin maka perencanaan dan pemilihan jenis turbin akan menjadi lebih mudah. Dengan mengetahui besaran kecepatan spesifik maka dimensi dasar turbin dapat diestimasi (diperkirakan).

3. Berdasarkan Net Head dan Debit

Dalam pemilihan jenis turbin, hal spesifik yang perlu diperhatikan antara lain menentukan tinggi head bersihnya dan besar debit airnya. Faktor yang mempengaruhi kehilangan tinggi pada saluran air adalah besar penampang saluran air, besar kemiringan saluran air dan besar

luas penampang pipa pesat. Berikut adalah pengertian tentang head dan debit.

a. Head Bersih (Net Head)

Head bersih adalah selisih antara head ketinggian kotor dengan head kerugian di dalam sistem pemipaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro tersebut. Head kotor (gross head) adalah jarak vertikal antara permukaan sumber air dengan ketingian air keluar saluran turbin (tail race) untuk turbin reaksi dan keluar nozel untuk turbin impuls. Kerugian head di dalam sistem pemipaan yaitu berupa head kerugian di dalam pipa dan head kerugian pada kelengkapan perpipaan seperti sambungan, katup, percabangan, difuser, dan sebagainya. Namun karena head kerugian pada kelengkapan pipa kecil maka kerugian ini dapat diabaikan.

Tabel 3. Aplikasi penggunaan turbin berdasarkan head

Jenis Turbin	Variasi Head (m)
Kaplan dan Propeller	2 < H < 20
Francis	10 < H < 350
Pelton	50 < H < 1000
Crossflow	6 < H < 100
Turgo	50 < H < 250

b. Kapasitas Aliran (Debit)

Debit aliran adalah volume air yang mengalir dalam satuan waktu tertentu. Debit air adalah tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur pemukaan air. Pengukurannya dilakukan tiap hari, atau dengan pengertian yang lain debit atau aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m3/s). Prinsip pelaksanaan pengukuran debit adalah mengukur luas penampang basah, kecepatan aliran dan tinggi muka air tersebut. Debit dapat dihitung dengan Persamaan:

$$Q = V.A \tag{2.3}$$

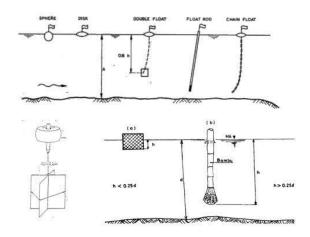
dimana:

Q = Debit (m3/s)

A = Luas bagian penampang basah (m2)

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

Terdapat beberapa cara dalam menentukan kecepatan aliran sungai. Aapun cara pengukuran kecepatan aliran sungai dengan menggunakan pelampung. Penggunaan pelampung sebagai alat ukur kecepatan merupakan metode yang paling sederhana, perinsip kerjanya bahwa pelampung yang bergerak oleh arus dan kecepatan arus dapat diperoleh dengan membagi jarak tempuh dengan waktu tempuh. Adapun jenis pelampung berupa pelampung permukaan, pelampung ganda, pelampung tongkat dan lainnya.

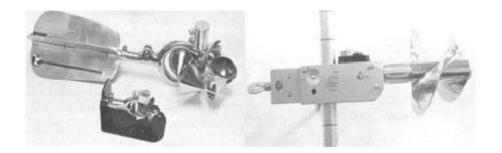


Gambar 11. Jenis-jenis pelampung

Penggunaan metode pelampung ini digunakan karena prinsip kerjanya yang mudah meskipun permukaan air sungai tersebut tinggi. Metode ini juga tidak dipengaruhi oleh kotoran atau barangbarang yang hanyut dan mudah dalam proses pelaksanaanya. Namun metode ini memiliki tingkat ketelitian yang masih rendah dengan demikian hasil kecepatan pelampung permukaan dikali dengan koefisien 0,7 sampai 0,9 tergantung dari keadaan sungai dan arah angin.

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

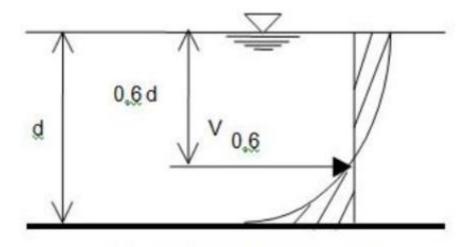
Terdapat beberapa jenis *current meter* yang digunakan pada umumnya. *Curent meter* yang menggunakan sumbu propeler yang sejajar dengan arah arus dapat disebut *ott propeler current meter*. Sedangkan untuk *current meter* dengan sumbu propeler yang tegak lurus terhadap arah arus aliran disebut *prince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



Gambar 12. Current Meter

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

1. Metode satu titik

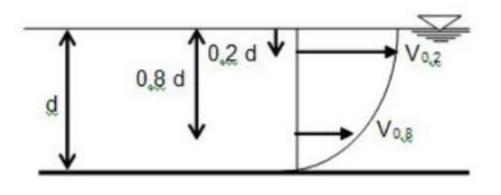


Gambar 13.Metode Satu Titik

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

$$V = 0.6V$$
 (2.4)

2. Metode dua titik



Gambar 14. Metode Dua Titik

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

$$V = \frac{V_{0,2} + V_{0,8}}{2} \tag{2.5}$$

3. Metode tiga titik

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

$$V = \frac{V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8}}{3} \tag{2.6}$$

D. Daya yang dibangkitkan Turbin

Dari data yang telah diperoleh pada bagian kapasitas air Q dan tinggi air jatuh H, dapat diperoleh Daya air (Patty, O, 1995):

$$P_a = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \tag{2.7}$$

dimana:

Pa = Daya air (Watt)

Q = kapasitas air (m3/detik)

 $\rho = \text{kerapatan air (kg/m3)}$

g = gayagravitasi (m/detik2)

H = tinggi air jatuh (m)

Selanjutnya daya yang dapat dibangkitkan oleh turbin, dapat diperoleh dari perhitungan efisiensi turbin sebagai berikut:

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_A} \tag{2.8}$$

$$P_T = \eta_T \times P_A \tag{2.9}$$

$$P_T = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta T \tag{2.10}$$

dimana:

 $P_T = Daya Turbin (Watt)$

 η_T = efisiensi turbin (%)

Efisiensi keseluruhan PLTA didapatkan dari:

$$\eta = \eta h x \eta t x \eta g \tag{2.11}$$

dimana:

 $\eta h = efisiensi hidrolik$

 $\eta t = efisiensi turbin$

 $\eta g = efisiensi generator$

Kehilangan energi pada terowongan tekan disebabkan oleh dua hal, yaitu kehilangan energi akibat gesekan (primer) dan akibat turbulensi (sekunder) pada pemasukan, pengeluaran dan belokan-belokan dan katub atau pintu serta perubahan penampang saluran.

1. Kehilangan energi akibat gesekan (primer)

$$hf = \lambda(Lv2) . 2 \tag{2.12}$$

dimana:

 λ = koefisien gesekan

L = panjang saluran (meter)

v = kecepatan air di saluran (m/s)

D = diameter saluran (m)

g = gaya gravitasi bumi (m2/detik)

- 2. Kehilangan energi sekunder
 - a. Kehilangan energi pada pemasukan (he)

$$He = Ke \cdot \frac{v^2}{2g} \tag{2.13}$$

Ke adalah koefisien kelihangan energi pada pemasukan

b. Kehilangan energi pada belokan (hb)

$$He = Kb \cdot \frac{v^2}{2g} \tag{2.14}$$

Kb adalah koefisien kehilangan energi karena belokan

c. Kehilangan energi pada katup atau pintu (hg)

$$He = Kg . \frac{v^2}{2g}$$
 (2.15)

hg adalah koefisien kehilangan energi pada katup pintu

Dengan demikian total kehilangan tinggi energi (ht) yang terjadi pada terowongan tekan adalah :

$$Ht = he + hf + hb + hg \tag{2.16}$$

Besarnya kehilangan tinggi energi ini dihitung sebagai kehilangan produksi listrik per tahun dengan memasukkan harga listrik per Kwh, maka dapat dihitung besarnya kehilangan produksi yaitu sebesar :

dimana:

Q = debit (m3/detik)

T = lama pengoperasian per tahun (jam)

Untuk menekan besarnya kehilangan energi, maka dilakukan upaya untuk memperkecil yaitu dengan cara :

- Pelapisan dan penghalusan (lining) permukaan saluran.
- Memperbesar profil saluran.

• Menghindari kemungkinan belokan-belokan dan perubahan profil.

E. Perancangan Dimensi Turbin

- a. Desain runner turbin
 - 1. Kecepatan air masuk turbin (C1)

$$C_1 = KC_1 (2.g.H)^{\frac{1}{2}}$$
 (2.18)

dimana:

 C_1 = kecepatan air masuk turbin (m/s)

g = percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s2)

H = tinggi jatuh air

Kc₁=koefisien kecepatan air pada nozzle (0,98)

2. Kecepatan sisi masuk rotor turbin/kecepatan tangensial (U1)

$$U_1 = Ku_1 \cdot C_1 \cdot Cos \alpha \tag{2.19}$$

dimana:

U1 = kecepatan keliling (m/s)

Ku1= koefisienkecepatan keliling

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

3. Diameter runner pada sisi masuk

$$D_1 = \frac{U_{1.60}}{\pi . n} \tag{2.20}$$

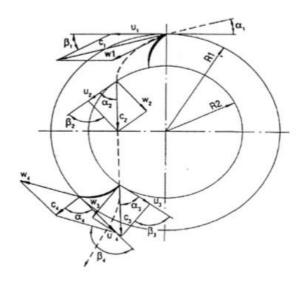
Dimana:

 $D_1 = diameter runner (m)$

n = putaran turbin

4. Diameter runner bagian dalam

$$D_2 = D_1.0,66 (2.21)$$



Gambar 15. Segitiga kecepatan lintasan air melewati turbin

Keterangan gambar:

a) Parameter saat air masuk sudu pada tingkat I

W₁= kecepatan relatif air masuk sudu pada tingkat I

 C_1 = kecepatan air masuk turbin

 β_1 = sudut kecepatan air masuk bagian luar runner

 U_1 = kecepatan linier (keliling)

 $\alpha_1 = \text{Sudut}$ yang dibentuk oleh kecepatan absolute dengan kecepatan tangensial.

b) Parameter saat air keluar sudu pada tingkat I

 C_2 = kecepatan absolut air keluar sudu tingkat I

 W_2 = kecepatan relatif air keluar sudu pada tingkat I

 β_2 = sudut kecepatan air masuk bagian dalam runner

 U_2 = kecepatan linier saat keluar sudu.

- c) Parameter air saat masuk sudu tingkat II (C₃, W₃, α₃, U₃)
- d) Parameter air pada saat keluar pada sudu tingkat II (C_4 , U_4 , β_4 , W_4)

b. Desain panjang sudu

Panjang sudu ditentukan menggunakan persamaan (Ismono, 1999).

$$b = 0.006 \frac{nQ}{kH} \tag{2.22}$$

dimana:

n = putaran turbin (rpm)

Q = kapasitas aliran (m3/s)

H = tinggi jatuh (head) (m)

K = koefisien tebal semburan air terhadap diameter runner

c. Panjang busur (lb)

Langkah menghitung panjang busur adalah (Arter dan Meier, 1990).

Menghitung panjang garis penghubung kedua titik potong R_1 dan R_2 (C):

$$C = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2Cos(\beta_1 + \beta_2)}$$
 (2.23)

Parameter sudut (ε) :

$$\varepsilon = ArcSin\left[\frac{R_2Sin(\beta_1 + \beta_2)}{C}\right] \tag{2.24}$$

Parameter sudut (ζ) :

$$\zeta = 180^{0} - (\beta_{1} + \beta_{2} + \varepsilon) \tag{2.25}$$

Parameter sudut (ϕ) :

$$\phi = (\beta_1 + \beta_2 +) - (180^0 - 2.\zeta) \tag{2.26}$$

Parameter panjang diameter (d):

$$d = \frac{R \sin\emptyset}{2Sin(180^{\circ} - \zeta)} \tag{2.27}$$

Menghitung sudut kelengkapan sudu (δ) :

$$\delta = 180^0 - 2(\beta_1 + \varepsilon) \tag{2.28}$$

Menghitung jari-jari kelengkungan sudu (rb):

$$rb = \frac{d}{\cos(\beta_1 + \varepsilon)} \tag{2.29}$$

Menghitung jari-jari kelengkungan jarak bagi (picth) sudu (rp) :

$$rp = \sqrt{rb^2 + R_1^2 - 2rb_1R_1Cos\beta_1}$$
 (2.30)

Menghitung panjang Busur (lb):

$$lb = 2.\pi \, rb. \, \delta/360^{\circ}$$
 (2.31)

d. Jumlah sudu

Jumlah sudu dapat diperoleh dengan persamaan (Mockmore, 1949):

$$Z = \frac{\pi \cdot D_1}{t} \tag{2.32}$$

dimana:

t = jarak antara sudu luar

 $= S2/Sin\beta_1$

$$S2 = k.D_1 (k = tetapan (0.075 - 0.10))$$
 (2.33)

e. Panjang roda jalan

Dengan menentukan tebal piringan plat (t), maka panjang runner adalah:

$$B = b + 2 \cdot t$$
 (2.34)

f. Poros

Perancangan poros menggunakan kombinasi momen puntir dan daya rencana. Momen puntir dapat dicari dengan rumus (Sularso, 1987):

$$T = 9,74 \cdot 10^5 \frac{P_d}{n} \tag{2.35}$$

dimana:

Pd = daya rencana (kW)

Pd= fc. PT

dimana:

fc = faktor koreksi

PT = daya keluaran turbin

Diameter poros dihitung dengan persamaan:

$$d_s = \sqrt[3]{\frac{5.1}{\tau \alpha} Kt. Cb. T} \tag{2.36}$$

dimana:

 $\tau \alpha$ = tegangan yang diizinkan (kg/mm²)

Kt = faktor koreksi untuk puntiran

Cb = faktor lenturan

T = momen puntir

F. Analisis Hidrologi

Perhitungan Debit Andalan (Low Flow Analysis)

Analisis ketersediaan air adalah dengan membandingkan kebutuhan air total termasuk kebutuhan air untuk PTMH dengan ketersediaan air. Setelah dibandingkan, akan diperoleh kelebihan atau defisit air pada setiap bulannya, baik pada saat ini ataupun waktu yang akan datang. Secara umum debit andalan dinyatakan sebagai data aliran sungai/curah hujan dengan debit andalan 80% dan 90% agar PLTMH dapat berfungsi dengan baik termasuk pada musim kemarau seperti bulan Juni, Agustus, dan September yang terjadi defisit air. Analisis debit andalan bertujuan untuk mendapatkan potensi sumber air yang berkaitan dengan rencana pembangunan PLTMH (Kusumaastuti, D.I 2015).

Menurut Kusumaastuti, D.I 2015 perhitungan debit andalan dengan menggunakan metode FDC (*flow Duration Curve*). Metode FDC adalah cara yang mudah untuk mempelajari karakteristik aliran sungai dan membandingkan suatu DAS dengan DAS yang lainnya (Patty,1995). Metode *Flow duration cuve* merupakan ringkasan rata-rata dari data debit sungai harian yang menghubungkan aliran dengan persentase waktu yang telah dilampaui dalam pengukuran. FDC diplotkan menggunakan data aliran atau debit pada skala logaritmik untuk sumbu y dan persentase waktu debit yang telah terlampaui pada skala peluang untuk sumbu x. Analisis FDC merupakan teknik plot yang menunjukkan hubungan antara nilai dari sebuah besaran dengan frekuensi terjadinya. Informasi yang diberikan oleh FDC adalah debit aliran yang melewati lokasi tertentu dan dalam rentang waktu

tertentu akan bermanfaat untuk merancang struktur PLTMH yang di butuhkan.

Dengan contoh struktur dapat dirancang untuk beroperasi dengan pengoptimalisasi pada renang debit tertentu antara 20% hingga 80%.

Untuk kepentingan perancangan PLTMH sangat penting untuk mengetahui data debit dari tahun ke tahun sehingga dapat diketahui berapa banyak air yang dapat dipergunakan untuk menggerakkan turbin. Pengukuran FDC diplotkan dengan menggunakan data aliran atau debit pada skala logaritmik sebagai sumbu y dan persentase waktu debit terlampaui pada skala peluang sebagai sumbu x (sandoro, 2009).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Data Penelitian

Setiap penelitian membutuhkan data-data pendukung, baik data primer maupun data skunder.

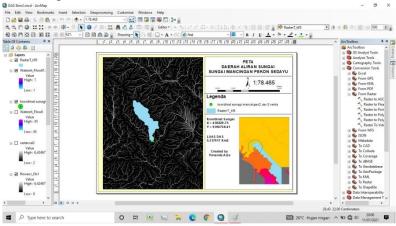
1. Data Primer

Data primer yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- a. Data luas penampang di Sungai Mancingan Pekon Sedayu pada koordinat 5°30'47"LS dan 104°26'50"BT
- b. Data kecepatan aliran Sungai Mancingan Pekon Sedayu
- c. Data beda ketinggian dari bendungan ke rumah kincir

2. Data Skunder

Data Luasan DAS berasal dari sestem informasi Geografis *The Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) pada website www.usgs.gov atau *Digital Elevation Model Indonesia* (DEMNAS) pada wensite www.tanahair.indonesia.go.id yang selanjutnya diolah dengan aplikasi ArcGIS untuk mengetahui luas DAS.



Gambar 13. Aplikasi ArcGis

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di sungai mancingan Pekon Sedayu, Kecamatan Semaka, Kabupaten Tanggamus. Penelitian ini dilakukan dari bulan November sampai Desember 2020 dan Maret 2021.

C. Alat dan Bahan

Adapun Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Selang Plastik

Alat ini digunakan untuk mengukur ketinggian (head) dengan cara waterpass yang memanfatkan beda ketinggian air dalam selang.



Gambar 16. Selang plastik

2. Tongkat Ukur

Digunakan untuk mengukur ketinggian (head).



Gambar 17. Tongkat Ukur

3. Meterean

Digunakan untuk mengukur jarak benda apung.



Gambar 18. Meteran

4. Stopwatch

Digunakan untuk mengukur kecepatan benda apung.



Gambar 19. Stopwatch

5. Styrofoam

Bahan yang digunakan dalam pengukuran kecepatan aliran air.



Gambar 20. Styrofoam

6. Current Meter

Berfungsi untuk mengukur kecepatan aliran sungai



Gambar 21. Current Meter

D. Tahapan Penelitian

Cara yang dilakukan dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu:

1. Studi literatur

Pada penelitian ini dilakukan studi literatur mengenai PLTMH, turbin air, klasifikasi turbin, debit aliran air, head dan daya yang dapat dibangkitkan oleh sebuah turbin.

2. Survei lokasi

Survei lokasi dilakukan di sungai mancingan Pekon Sedayu Kecamatan Semaka Kabupaten Tanggamus.

3. Pengumpulan data

Pengumpulan data berupa data primer debit dan head yang diambil langsung di lokasi sungai mancingan Pekon Sedayu Kecamatan Semaka Kabupaten Tanggamus.

4. Analisa data

Data-data dari hasil pengukuran kemudian dianalisa untuk mengetahui potensi yang ada di sungai mancingan Pekon Sedayu Kecamatan Semaka Kabupaten Tanggamus. Selanjutnya memilih jenis turbin dan merancang dimensi turbin berdasarkan head dan debit yang dimiliki.

5. Penulisan laporan.

Penulisan laporan adalah akhir dari penelitian ini.

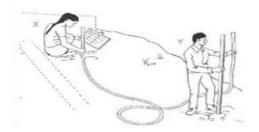
E. Metode Pengumpulan Data

Metode penelitian yang dilakukan untuk melakukan survei potensi PLTMH adalah dengan pengumpulan data-data yang meliputi data primer lokasi pembangunan PLTMH yang meliputi beda ketinggian (head) dan debit aliran air. Data primer diambil secara langsung menggunakan alat ukur yang telah disiapkan di atas. Data diambil menggunakan benang dan selang serta altimeter untuk menentukan ketinggian lokasi, lalu styrofoam untuk mendapatkan debit aliran yang ada pada sungai mancingan Pekon Sedayu Kecamatan Semaka Kabupaten Tanggamus.

A. Pengukuran Head

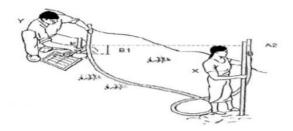
Head yang diukur tersebut merupakan head kotor (*head gross*), setelah di kurangi dengan faktor gesekan dan faktor kehilangan (*losses*) lainnya ketika air mengalir maka akan menjadi head bersih (*head net*). Pengukuran head ini menggunakan alat pengukuran sederhana yaitu enggunakan sehelai benang nilon dan selang plastik. Cara kerjanya yaitu:

 Pengukuran dimulai di atas elevasi perkiraan permukaan air pada posisi forebay yang telah ditentukan.



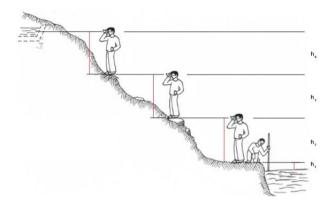
Gambar 22. Cara mengukur permukaan air dengan posisi forebay

2. Pengukuran kedua dan selanjutnya dengan melanjutkan pada titik yang lebih rendah dari pengukuran sebelumnya.



Gambar 23. Pengukuran dari titik tertinggi ke titik terendah

3. Lanjutkan pengukuran sampai di lokasi turbin akan di tempatkan. Jumlahkan seluruh hasil pengukuran untuk mendapatkan total head kotor.

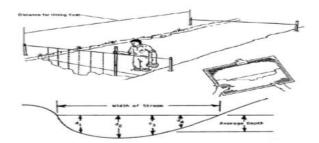


Gambar 24. Jumlah dari hasil pengukuran seluruhnya

B. Pengukuran debit air primer

Suatu sungai akan sangat bervariasi alirannya di sepanjang tahun, pengukuran baik dilakukan pada saat aliran terendah (musim kemarau). Dikarenakan aliran terendah dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaa PLTMH. Pengukuran debit sungai dapat dilakukan dengan mengambil data sekunder yang diperoleh dari Dinas permukiman dan pengairan provinsi lampung atau dengan pengukuran debit aliran secara langsung di lokasi sungai (pengukuran primer). Pengukuran debit sungai primer digunakan metode benda apung atau dengan alat *current meter*. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

- Memilih bagian sungai yang relatif lurus dan penampangnya seragam lalu tentukan panjangnya.
- Mengukur luas penampang bagian sungai dengan cara membagi dalam beberapa segmen, minimal menjadi 3 segmen. Kemudian mengitung luasan masing-masing dari segmen tersebut dan menghitung luasan penampang secara keseluruhan.



Gambar 25. Membagi dalam berbagai segmen

3. Menjatuhkan benda apung tersebut beberapa meter sebelum garis start yang telah ditentukan.

- 4. Mengukur waktu yang perlukan benda apung tersebut untuk melewati jarak yang telah ditentukan.
- 5. Menghitung kecepatannya dengan rumus:

$$Vf = \frac{Jarak}{Waktu} \frac{m}{s} \tag{3.1}$$

- 6. Kecepatan dari benda apung merupakan kecepatan dari aliran permukaan, nilai perkiraan untuk kecepatan daribenda apung rata-rata aliran sungai tersebut dapat dihitung dengan mengalikan kecepatan aliran permukaan yang mendekati bagian tengah aliran dengan faktor koreksi, dimana :
 - Saluran beton, persegi panjang, mulus c = 0.85
 - Sungai luas, tenang, aliran bebas (>10 m) c = 0.75
 - Sungai dangkal, aliran bebas (<10 m) c = 0.65
 - Dangkal (<0.5 m), aliran turbulen c = 0.45
 - Sangat dangkal (<0.2 m), aliran turbulen c = 0.25

Menghitung kecepatan dari rata-rata kecepatan aliran sungai tersebut dengan menggunakan rumus :

$$Va = V_f \times C \tag{3.2}$$

7. Menghitung debit air sungai tersebut dengan rumus :

$$Q = V_a \times A \tag{3.3}$$

Dimana menghitung luas penampang (A) menggunakan rumus integrasi numerik metode trapesium :

$$A = \frac{h}{2} [f(a) + 2\sum_{n=1}^{n-1} f(x_n) + f(b)]$$
 (3.4)

dimana:

A = Luas penampang

$$h = lebar segmen = \frac{b-a}{N}$$

a = batas bawah

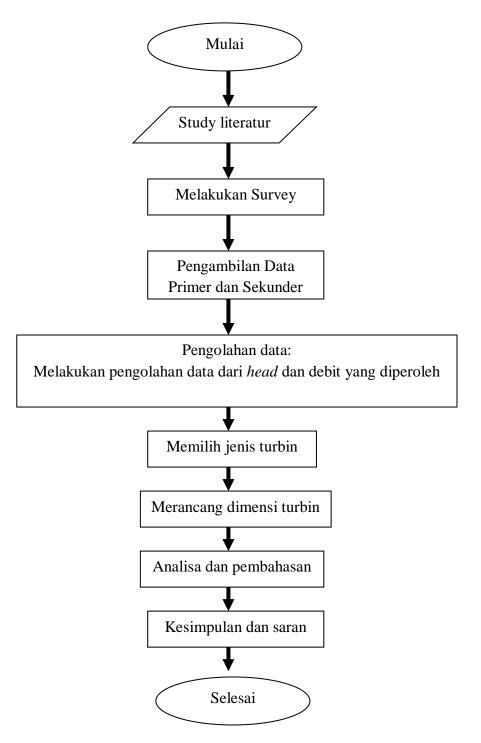
b = batas atas

N = jumlah segmen

F. Metode Pengolahan Data

Data-data yang diperoleh diproses ke dalam rumus empiris yang selanjutnya data dari perhitungan tersebut disajikan dalam bentuk tabulasi dan grafik kemudian hasil dari perhitungan tersebut dapat diketahui potensi yang dapat digunakan sebagai dasar pembuatan PLTMH di sungai mancingan Pekon Sedayu.

G. Diagram Alir Metode Penelitian



Gambar 26. Diagram alir metode penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Adapun simpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Besar debit air yang dimiliki Sungai Mancingan Pekon Sedayu terukur sebesar 0,228 m³/s atau 228 L/s, sedangkan tinggi jatuh air (head) sebesar 7,957 m dari lokasi penempatan turbin.
- 2. Perhitungan debit andalan dengan menggunakan metode FDC di DAS Way Semaka dengan menggunakan probabilitas 80% sebesar 20,133 m 3 /s dan debit andalan (Q $_{80\%}$) untuk sungai Mancingan Pekon Sedayu 0,142m 3 /s.
- 3. Perhitungan debit dengan menggunakan metode FDC hasilnya lebih rendah dari perhitungan debit terukur. Dalam penelitian ini dengan hasil dari Q_{80%} metode FDC 0,142 m³/s dan 0,228 m³/s debit terukur di sungai Mancingan Pekon Sedayu. Hal ini membuktikan bahwa metode FDC dapat digunakan untuk perhitungan debit
- 4. Hasil perhitungan dari daya listrik pada sungai Mancingan Pekon Sedayu dengan Q_{50%} dan efisiensi 60% didapat daya listrik 12,38 kW dan jika menggunakan efisiensi 90% didapat daya listrik sebesar 18,57kW sehingga daya listrik diperkirakan yang dapat terbangkitkan di sungai Mancingan Pekon Sedayu berkisar antara 12,38 kW hingga 18,57kW

- 5. dengan demikian sungai Mancingan Pekon Sedayu memiliki potensi untuk dijadikan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).
- 6. Berdasarkan hasil perhitungan dapat ditentukan pemilihan jenis turbin yang sesuai pada Sungai Mancingan Pekon Sedayu yaitu jenis turbin *Crossflow*, dimana pemilihan tersebut berdasarkan debit aliran sebesar 0,228 m³/s, kecepatan spesifik turbin sebesar 90,60 rpm serta head bersih 7,09 m.
- 7. Hasil perancangan dimensi turbin berdasarkan penelitian langsung dan perhitungan diperoleh diameter poros turbin sebesar 32 mm, diameter runner pada sisi masuk dan dalam sebesar 256 mm dan 123 mm, panjang sudu 426 mm, ketebalan sudu 1 mm serta jumlah sudu 20.

B. Saran

Adapun saran dalam penelitian ini adalah perlu adanya pengoptimalan turbin air di Sungai Mancingan Pekon Sedayu, dikarenakan berdasarkan hasil perhitungan daya yang dapat dihasilkan sebesar 6,3 kW, sedangkan daya yang dimanfaatkan dilokasi hanya sebesar 3 kW.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, K.M. 2017. Modul Perhitungan Hidrologi Peatihan Perencanaa Bendungan Tingkat Dasar. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi. Bandung
- Arter A, Meier U., 1990. *Hydraulics Engineering Manual*, H. Harrer, St. Gallen, Switzerland.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. 2019. Provinsi Lampung Dalam Angka.

 Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. Lampung.
- Doda dan Mohammad., 2018. Analisis Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik

 Tenaga Mikrohidro di Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo.

 Skripsi.
- Doland J. James. 1984. *Hydro Power Engineering, A Textbook for Civil Engineers*. The Ronald Press company. New York.
- Dwiyanto, K Indriana, dan Tugiono. 2016. Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Studi kasus: Sungai air anak (Hulu Sungai Way Besi). JRSDD, Vol.4(3): 407-422, ISSN: 2303-0011
- Fox, Robert W. Dan Alan T Mc Donald.1994. *Introduction to Fluid Mechanics* 3rd edition. John Willey & Sons.USA.
- Haimerl, L.A. 1960. The Cross Flow Turbine. Jerman Barat.
- Ismono H.A., 1999. Perencanaan Turbin Air Tipe Cross Flow Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Institud Teknologi Nasional Malang. Skripsi.

- Keller2. 1975. Hydraulic Machine. New Delhi: Metropolitan Book Co Private Ltd.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2020. Konsumsi Listrik Nasional. Indonesia. https://www.esdm.go.id/conten, 02 juli 2020.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2009. Panduan Singkat
 Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).
 Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta Selatan
- Kusumaastuti, D.I., D.J Winarno dan Humaidi. 2015. Study Potensi Sumber Daya Air untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Pekon Tugu Ratu Kecamatan Suoh Kabupaten Tanggamus Lampung Barat Provinsi Lampung. JRSDD, Vol.19(3)
- Mock, F.J Land, 1973. Capabity Apprasial Indonesia Water Availabelity

 Apprasial, Food and Agriculture Organization of The Unied Nation,

 Bogor.
- Nugroho Y.S.H., Hunggul; M. Kudeng Sallata. 2015. PLTMH (Pembangkit

 Listrik Tenaga Mikro Hidro) Panduan Lengkap Membuat Sumber Energi

 Terbarukan Secara Swadaya. Yogyakarta: Cv. Andi Offset
- Mockmore C.A., Merryfield Fred. 1949. The Banki Water Turbine. Bulletin Series No.25 Engineering Experimental Station, Oregon State System of Higher education, Oregon State College, Corvalis.
- Patty, O. 1995. Tenaga Air. Jakarta: Erlangga.
- Penche, C., & Minas, I. d. (1998). *Layman's Guide Book on How to Develop a Small Hydro Site*. Brussel: European Small Hydropower Association.

- Sandro, Wellyanto, 2009, Analisis Data Debit dan Penentuan Koefisien Limpasan. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Sularso, Kiyokatsu S,. 1987. Dasar *Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Penerbit Pradnya Paramita.
- Sulistiyo, B. 2018. Rancang Bangunan Sistem Pembangkit Lisrtik Tenaga Air untuk memanfaatan Energi Aliran Sungai Penyungkayan di Dusun Penyungkaiyan Kecamatan Balik Bukit Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung . *Skripsi*. Program studi Teknik mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung
- SNI 8066:2015. Tata cara Pengukuran Debit Aliran Sungai dan Saluran Terbuka Menggunakan Alat Ukur Arus dan Pelampung. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- Tumanggor, F.R. 2015. Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Sungai Purworejo Pekon Tambak Jaya Kecamatan Way Tenong Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung. *Skripsi*. Program studi Teknik mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung
- Wahyudi dan Irsyad. 2018. Potensi Energi Terbarukan di Provinsi Lampung untuk mewujudkan kemandirian Energi. Prosiding Semnas SINTA FT UNILA, Vol.1, Tahun 2018, ISBN: 2655-2914.