

# STUDI KELAYAKAN TEKNIK PEM BANGKIT LISTRIK TENAGA MINIHIDRO DI DESA SANTONG KABUPATEN LOMBOK UTARA

## TECHNICAL FEASIBILITY STUDY OF MINIHIDRO POWER PLANT IN SANTONG VILLAGE, NORTH LOMBOK DISTRICT

Hanif Qodri Abdullah<sup>1</sup>, Dr. Ida Ayu Sri Adnyani, S.T., M.Erg.<sup>2</sup>, Dr. Ir. Rosmaliati, ST., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram

Jl. Majapahit no. 62, Mataram, Lombok, NTB, Indonesia

<sup>1</sup>[hanifqodriabdullah@gmail.com](mailto:hanifqodriabdullah@gmail.com), <sup>2</sup>[adnyani70@yahoo.co.id](mailto:adnyani70@yahoo.co.id), <sup>3</sup>[rosmaliati.muchtar@gmail.com](mailto:rosmaliati.muchtar@gmail.com)

---

### ABSTRAK

Pengembangan energi terbarukan sebagai solusi energi listrik. Salah satu energi terbarukan yang potensial di Indonesia adalah PLTM. Desa Santong merupakan daerah yang memiliki potensi untuk rencana PLTM, sehingga peneliti ingin melakukan studi untuk merencanakan PLTM. Metode yang dilakukan pada studi ini adalah metode penelitian kuantitatif dengan pengumpulan dan pengolahan data dari BWS. Penelitian ini juga dilakukan pengukuran dengan metode floating untuk membandingkan data pengukuran dengan data BWS. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah nilai debit desain yang akan digunakan sebesar 1,84 m<sup>3</sup>/s dengan probabilitas kejadian sebesar 30 % dan debit banjir rancangan dengan periode ulang 100 tahun sebesar 295,03 m<sup>3</sup>/s. Potensi daya yang dapat dibangkitkan sebesar 550 kW dan energi selama setahun sebesar 1442,8 MWh. Jenis turbin yang digunakan adalah turbin francis dengan kecepatan putaran spesifik sebesar 328,3 Rpm. Jenis generator yang digunakan adalah generator sinkron 3 fasa dengan spesifikasi rating sebesar 687,5 kVA dan jumlah kutub sebanyak 6 kutub. Kesimpulannya adalah dari hasil yang didapatkan, maka studi ini dapat dikatakan layak dilihat dari sisi teknisnya.

**Kata Kunci :** Studi, PLTM, Penelitian Kuantitatif, BWS, Debit Air.

---

### ABSTRACT

Development of renewable energy as an electrical energy solution. One of the potential renewable energies in Indonesia is PLTM. Santong Village is an area that has potential for a PLTM plan, so researchers want to conduct a study to plan a PLTM. The method used in this study is a quantitative research method by collecting and processing data from BWS. This research also carried out measurements using the floating method to compare the measurement data with BWS data. The results obtained from this research are the design discharge value that will be used is 1.84 m<sup>3</sup>/s with a probability of occurrence of 30% and the design flood discharge with a return period of 100 years is 295.03 m<sup>3</sup>/s. The potential power that can be generated is 550 kW and the energy for a year is 1442.8 MWh. The type of turbine used is a Francis turbine with a specific rotation speed of 328.3 Rpm. The type of generator used is a 3-phase synchronous generator with a rating specification of 687.5 kVA and a number of poles of 6 poles. The conclusion is that from the results obtained, this study can be said to be feasible from a technical perspective.

**Keywords:** Study, PLTM, Quantitative Research, BWS, Discharge.

---

### PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) adalah pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 5 MW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil

energi. PLTM termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Tenaga air berasal dari aliran sungai atau danau yang dibendung dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang

dihubungkan dengan generator listrik. (Al-Haidi, 2017)

Kabupaten Lombok Utara merupakan salah satu wilayah yang banyak memiliki potensi energi air, baik yang skala kecil (PLTMH) maupun skala menengah (PLTM). Potensi yang besar tersebut dipengaruhi oleh kontur geografis yang berupa daerah pegunungan dengan aliran sungai yang deras. Salah satu wilayah yang memiliki potensi PLTM berada di Desa Santong. Di desa tersebut mengalir sungai yang memiliki debit yang cukup besar dan memiliki elevasi yang cukup tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Penentuan debit sungai yang tepat akan berdampak pada rancangan PLTM yang baik karena debit sungai yang berfluktuasi akibat perubahan iklim secara langsung akan mengakibatkan terjadinya perubahan kapasitas produksi listrik.

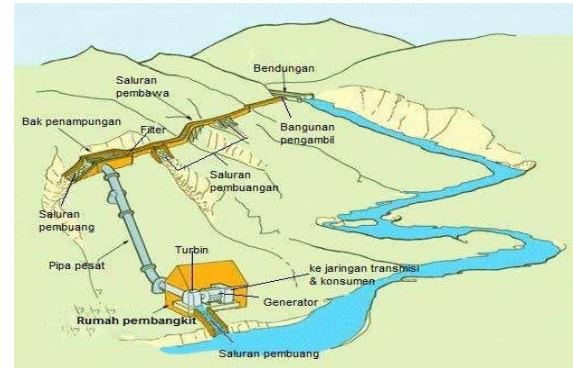
Desa Santong sendiri berada di kecamatan Kayangan Kabupaten Lombok Utara, secara geografis desa Santong berada di koordinat yang dialiri beberapa sungai salah satunya sungai Santong yang mempunyai banyak mata air yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat seperti irigasi ataupun yang lainnya. Kontur tanah di Desa Santong adalah berbukit dengan ketinggian 500 meter dari permukaan air laut. Oleh karena itu, pengembangan PLTMH diusulkan sebagai upaya untuk memanfaatkan potensi air yang ada juga sebagai upaya untuk meningkatkan potensi energi baru terbarukan.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka dilakukan penelitian untuk melakukan studi untuk merencanakan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro yang dimulai dari studi hidrologi pada daerah sungai tersebut kemudian merencanakan dimensi bagian utama PLTM sampai didapatkan potensi daya yang optimal.

### Skema PLTM

Pembangkit listrik tenaga minihidro mengkonversi tenaga air menjadi tenaga listrik, mula-mula potensi tenaga air dikonversikan menjadi tenaga mekanik dalam turbin air yang kemudian turbin air tersebut memutar generator sehingga mampu dihasilkan tenaga elektrik. Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) memiliki kapasitas daya keluarannya antara 100 kW sampai 1000 kW dengan memanfaatkan ketinggian jatuh air untuk

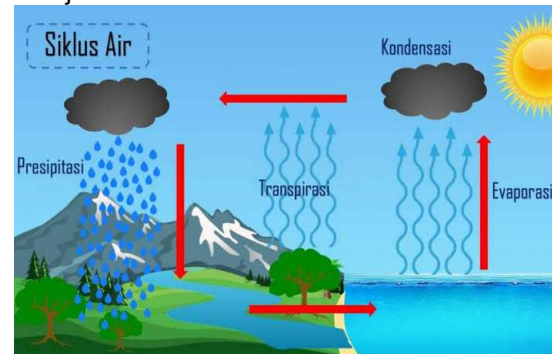
dikonversi menjadi energi mekanik kemudian menjadi energi listrik, dapat dilihat pada skema Gambar 1



Gambar 1 Skema Pembangkit Listrik Minihidro

### Daerah Aliran Sungai (DAS)

DAS sebagai suatu sistem selalu ada masukan (input), proses dan keluaran (output). Masukan berupa Curah hujan dan keluaran berupa aliran, sedimen dan *evapotranspirasi*. Proses, terdiri dari beberapa variabel. Proses yang berpengaruh terhadap perubahan hujan menjadi runoff.



Gambar 2 Siklus Hidrologi

### Debit Banjir/Limpasan.

Tidak semua daerah aliran sungai mempunyai cukup data banjir sehingga sulit dalam pembuatan unit hidrografnya. Hidrograf satuan suatu Daerah Aliran Sungai adalah suatu limpasan langsung yang diakibatkan oleh suatu hujan efektif yang terbagi rata dalam waktu dan ruang. Tujuan dari hidrograf adalah untuk memperkirakan hubungan antara hujan efektif dan aliran permukaan. Salah satu metode untuk menganalisis hidrograf dari DAS dan mendapatkan debit banjir yaitu dengan metode HSS Nakayasu. Berikut adalah persamaannya: (Suripin, 2003)

$$Q_p = \frac{C \times A \times R_0}{3,69 \times 0,3 \times T_p \times T_{0,3}} \quad (1)$$

Dimana:

$Q_p$  = Debit puncak banjir ( $m^3/det$ );

$C$  = Koefisien pengaliran;

$A$  = Luas daerah aliran sungai ( $km^2$ );

$R_0$  = Hujan satuan ( $mm$ );

$T_p$  = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir ( $jam$ );

$T_{0,3}$  = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak ( $jam$ ).

### Debit Andalan Dan Flow Duration Curve

Debit yang ditinjau bertujuan untuk mengoperasikan PLTM. Debit minimum sungai dianalisis atas dasar debit hujan sungai. Debit andalan adalah debit minimum sungai dengan kemungkinan debit terpenuhi dalam persentase tertentu, misalnya 90%, 80% atau nilai lainnya, sehingga dapat dipakai untuk kebutuhan tertentu. Tingkat keandalan debit tersebut dapat terjadi, berdasarkan probabilitas kejadian mengikuti rumus *Weibull* (Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2009)

$$P = \frac{i}{(n+1)} \times 100 \quad (2)$$

Dimana:

$i$  = Nomor urut debit;

$n$  = Jumlah data;

$P$  = Probabilitas terjadinya kumpulan nilai selama periode pengamatan (%)

### Bendungan (Intake)

Bendungan adalah konstruksi bangunan yang berfungsi untuk mengalihkan air melalui sebuah pembuka di bagian sisi kedalam sebuah bak pengendap. Konstruksi bendungan juga dibuat untuk mengontrol ketinggian permukaan air.

Persamaan debit untuk bendung ambang pendek dengan pengontrol segi empat adalah sebagai berikut (Mawardi, 2015) :

$$Q = C_d \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot b \cdot H_1^{1,5}} \quad (3)$$

### Saluran Pembawa

Saluran pembawa (*waterway*) berfungsi sebagai saluran pembawa debit dari bangunan pengambilan menuju bak penenang (*headpond*).

Kecepatan diperoleh dengan formula *Manning – Strickler*:

$$v = \frac{1}{n} \cdot \sqrt[3]{R^2} \cdot \sqrt{S} \quad (4)$$

Keterangan:

$Q$  = Debit ( $m^3/dt$ )

$v$  = Kecepatan rata-rata ( $m/dt$ )

$R$  = Jari-jari hidrolis ( $m$ )

$S$  = Kemiringan dasar saluran

$n$  = Koefisien kekasaran *Manning*

### Kolam Penenang

Kolam penenang berada di ujung saluran pembawa yang berfungsi untuk mencegah *turbulensi* air sebelum diterjunkan melalui pipa pesat. Kolam penenang berfungsi mengontrol perbedaan debit karena fluktuasi beban, dilengkapi sandtrap, trashrack dan spillway.

$$L \cdot B = Q_D / w \quad (5)$$

dengan :

$L$  = panjang kolam ( $m$ ),

$B$  = lebar kolam ( $m$ ),

$Q_D$  = debit desain ( $m^3/dt$ ),

$w$  = Tinggi jagaan ( $m/dt$ ),

### Pipa Pesat

Pipa pesat adalah pipa yang berfungsi mengalirkan air menuju turbin. Pada umumnya di ameter pipa pesat ditentukan berdasarkan perbandingan dengan biaya pipa pesat dan biaya kehilangan head pipa pesat.

$$D = \frac{1,517 \cdot Q^{0,5}}{h^{0,25}} \quad (6)$$

Keterangan :

$D$  = diameter pipa ( $cm$ ),

$Q_d$  = debit ( $m^3/dt$ ),

$h$  = Head gross ( $m$ ),

### Rugi Rugi Energi Pipa

Penstock atau pipa pesat adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang menuju ke Rumah Pembangkit. Hidrolis pipa meliputi mayor losses, minor losses dan perhitungan H netto turbin. Adapun rugi rugi tersebut adalah: (Nurdin, 2017)

1. Mayor losses (kehilangan energi primer)

Kehilangan energi primer adalah kehilangan energi yang disebabkan gesekan didalam pipa.

$$h_e = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (7)$$

Keterangan:

$f$  = Koefisien kekasaran

$L$  = Panjang pipa ( $m$ );

$D$  = Diameter pipa ( $m$ );

$V$  = Kecepatan Aliran ( $m/s$ );

$g$  = Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ).

## 2. Perhitungan tinggi jatuh efektif

Tinggi jatuh efektif merupakan parameter penentu besar daya yang dihasilkan oleh PLTMH. Tinggi jatuh air efektif didapatkan dari hasil pengurangan tinggi jatuh aktual dengan kehilangan energi yang terjadi. Sehingga besar tinggi jatuh efektif dirumuskan sebagai berikut:

$$H_{eff} = H_{actual} - H_{losses} \quad (8)$$

Dimana:

$H_{eff}$  = tinggi jatuh efektif ( $m$ )

$H_{actual}$  = perbedaan tinggi aktual ( $m$ )

$H_{losses}$  = tinggi kehilangan energi ( $m$ ).

## Daya Keluaran

Perhitungan daya keluaran PLTM, terlebih dahulu mencari data data seperti debit air yang mengalir, ketinggian pipa pesat serta efisiensi peralatan. Secara matematis, besarnya daya yang dihasilkan PLTM dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$P_{outmh} = Q \times g \times h \times \eta_t \times \eta_g \quad (9)$$

Dimana:

$\eta_g$  = Efisiensi generator (0,95)

$\eta_t$  = Efisiensi turbin (0,9)

$P_{outmh}$  = Daya keluaran yang dihasilkan PLTM ( $kW$ )

$Q$  = Debit andalan ( $m^3/s$ )

$g$  = Percepatan gravitasi ( $9,81 m/s^2$ )

$h$  = Ketinggian efektif antara puncak penstock dengan turbin ( $m$ )

## Turbin Air

Pemilihan jenis turbin dapat diketahui bila daya putar  $P$  ( $kW$ ), dengan head  $H$  ( $m$ ) dan jenis turbin diberikan, maka rumus kecepatan spesifik turbin adalah (Arismunandar, dkk, 1972):

$$n_s = n \frac{P^{0,5}}{h^{5/4}} \quad (10)$$

Dengan:

$n$  = putaran turbin ( $rpm$ )

$P$  = daya yang keluar dari setiap rotor ( $Hp$ )

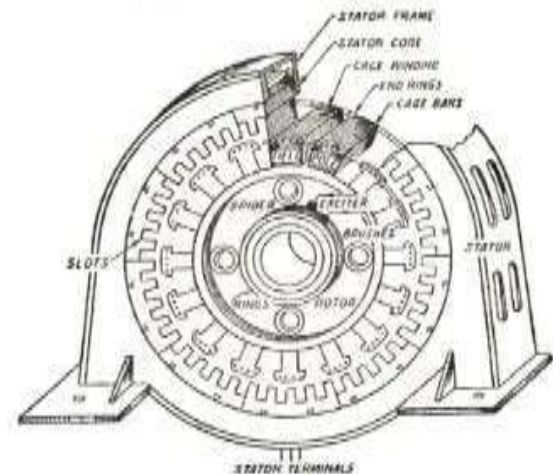
$H$  = tinggi jatuh efektif ( $m$ )

Tabel 1 Operasi Turbin

Jenis Turbin	Variasi Head ( $m$ )	Specific speed ( $Rpm$ )
Kaplan dan Propeller	$2 < H < 20$	340 – 1000
Francis	$10 < H < 350$	80 – 400
Pelton	$50 < H < 1000$	12 – 30
Crossflow	$6 < H < 100$	20 – 80
Turgo	$50 < H < 250$	20 – 70

## 2.2.5.2 Pemilihan Generator

Generator berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Berdasarkan perhitungan dan pedoman dalam perencanaan PLTM dengan potensi daya  $>30 kW$  menggunakan generator sinkron. Adapun Potensi daya yang kurang atau sama dengan  $30 kW$  menggunakan generator Induksi dikarenakan harganya yang lebih murah. (Kurniawan, dkk, 2009). Kontruksi generator sinkron ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3 Kontruksi generator sinkron.

Apabila frekuensi ( $f$ ) dari tegangan dimaksudkan sebagai banyak siklus tegangan (*cycle*) yang terjadi selama satu detik, dan kecepatan putar rotor ( $n$ ) dinyatakan dalam satuan putaran/round per menit (rpm), maka persamaan frekuensi tegangan dapat dinyatakan dengan (Bagia, 2018):

$$f = \frac{P \cdot n}{120} \text{ (Hz)} \quad (11)$$

Dimana:

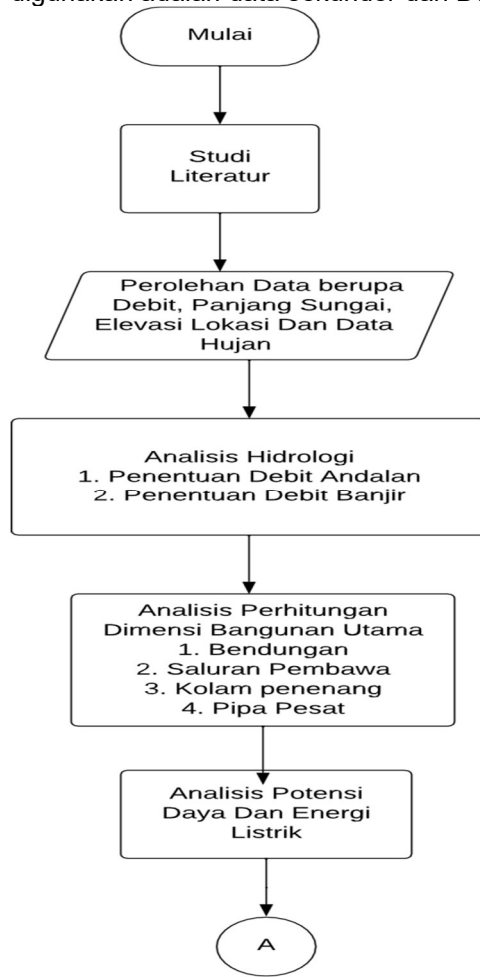
$f$  = frekuensi (Hz)

$n$  = banyak siklus untuk satu putaran rotor x banyak putaran per detik (rps)

$P$  = jumlah pasang kutub rotor x banyak putaran/menit

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah studi Metode yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah metode dengan penelitian kuantitatif dengan mengumpulkan dan analisis data. Data yang digunakan adalah data sekunder dari BWS.



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisis Distribusi Frekuensi Curah Hujan

Analisis distribusi frekuensi curah hujan digunakan untuk mencari curah hujan rancangan. Tahap pertama dalam menentukan curah hujan rancangan, adalah menganalisis distribusi frekuensi curah hujan. Data curah hujan Santong, Kayangan didapatkan dari BMKG dari tahun 1995- 2022

Tabel 2 Data Curah Hujan (mm)

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ag	Sep	Okt	Nov	Des
1995	520	134	114	197	5	80	-	-	4	53	21	111
1996	130	366	194	85	15	21	0	26	-	53	42	127
1997	239	198	84	108	42	11	31	14	-	15	-	216
1998	138	160	34	117	28	10	41	0	44	20	37	96
1999	195	185	118	93	5	0	0	18	-	72	71	71
2000	141	176	404	123	57	1	1	-	X	X	X	X
2001	72	135	236	92	0	85	57	-	-	0	31	198
2002	918	777	332	204	3	-	-	-	4	0	116	171
2003	264	759	368	23	X	12	-	-	0	0	53	152
2004	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2005	92	145	300	111	-	17	5	25	15	X	90	389
2006	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2007	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2008	247	598	170	30	40	9	-	-	-	68	91	161
2009	461	475	249	32	101	0	-	-	4	33	4	54
2010	282	130	119	105	216	5	90	15	27	154	62	316
2011	492	383	263	132	130	34	2	-	0	16	228	164
2012	523	143	523	67	11	0	15	-	-	40	123	318

a. Menghitung Standar Deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{54528,04}{25-1}}$$

$$S = 47,66$$

b. Menghitung Koefisien Skewness

$$C_s = \frac{\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^3}{S^3}$$

$$C_s = \frac{\frac{25}{(24)(23)} \cdot 3010019,54}{47,66^3}$$

$$C_s = 1,26$$

c. Menghitung Koefesien Kurtosis

$$C_k = \frac{\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^4}{S^4}$$

$$C_k = \frac{\frac{25}{(24)(23)} \cdot 615848843,84}{47,66^4}$$

$$C_k = 18,24$$

Tabel 3 Parameter Distribusi Frekuensi

Jenis Distribusi	Persyaratan	Hasil Uji	Keterangan
Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$	$C_s = 1,26$ $C_k = 18,24$	Tidak Memenuhi
Log Normal	$C_s = 1,16$ $C_k = 5,49$		Tidak Memenuhi
Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$		Tidak Memenuhi
Log Person Tipe III	Selain dari nilai diatas		Memenuhi

### Distribusi Frekuensi Log Person Tipe III

Distribusi Frekuensi Log Person Tipe III digunakan untuk mencari hujan rancangan dengan periode ulang tertentu. Metode ini dilakukan dengan mengubah data menjadi nilai dalam bentuk Logaritma. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4 Perhitungan Logaritma rata-rata dan Simpangan

NO	$X_i$	$\log X_i$	$\log(x_i - x)$	$\log(x_i - x)^2$	$\log(x_i - x)^3$
$\Sigma$	3215,81	52,06835	0,00000	0,57482	0,00476
$\bar{X}_{rata}$	128,63	2,08273	0,00000	0,02299	0,00019

a. Menghitung Standar Deviasi

$$S \log x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$S \log x = \sqrt{\frac{0,57482}{25-1}}$$

$$S \log x = 0,154$$

b. Menghitung Koefisien Skewness

$$C_s = \frac{\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^3}{S^3}$$

$$C_s = \frac{\frac{25}{(24)(23)} \cdot (0,00476)}{0,154^3}$$

$$C_s = 0,058$$

c. Menghitung Curah Hujan Rancangan

$$\log x_{100} = \log \bar{x} + k \cdot S \log \bar{x}$$

$$\log x_{100} = 2,08 + (2,36) \cdot 0,154$$

$$\log x_{100} = 2,44$$

$$x_{100} = 275,42 \text{ mm}$$

### Analisis Perhitungan Tinggi Hujan Efektif

Perhitungan debit banjir rencana dapat diketahui dengan mencari perhitungan hujan efektif. Hujan efektif dapat dicari dengan persamaan sampai 2-18.

Menghitung tinggi hujan efektif ( $R_e$ ),

$$R_e = C \cdot R_T$$

$$R_e = 0,75 \cdot 161,07$$

$$R_e = 120,80 \text{ mm}$$

Tabel 5 Hasil Perhitungan Tinggi Hujan Efektif

Jam ke-	$R_t$	$t-1$	$R(t-1)$	$RT$	$C$	$R_e$
1	161,07	0,00	0,00	161,07	0,75	120,80
2	101,47	1,00	161,07	41,86		31,40
3	77,43	2,00	101,47	29,37		22,03
4	63,92	3,00	77,43	23,38		17,53
5	55,08	4,00	63,92	19,74		14,81

### Analisis Perhitungan Debit Puncak

Perhitungan debit puncak digunakan untuk menghitung hidrograf dengan metode nakayasu yang akan digunakan untuk menghitung debit banjir rencana. Berikut adalah hasil dari debit banjir rencana

Menghitung debit bagian interval waktu 1

Waktu sebelum waktu puncak ( $0 < t < 3,38$ )

$$Q = Q_p \left(\frac{t}{t_p}\right)^{2,4}, \text{ dengan sampel } t = \text{jam ke } 1$$

$$Q = 1,94 \cdot \left(\frac{1}{3,38}\right)^{2,4}$$

$$Q = 0,105 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tabel 6 Hasil debit banjir

Jam ke.	Unit-Hidrograf (m <sup>3</sup> /mm)	Curah hujan jam jaman(mm)					Debit Banjir-Rancangan m <sup>3</sup> /s
		120,80	31,40	22,03	17,53	14,81	
0,00	0,000	0,00					0,00
1,00	0,105	12,64	0,00				12,64
2,00	0,552	66,74	3,29	0,00			70,02
3,00	1,462	176,60	17,35	2,31	0,00		196,25
3,38	1,946	235,12	45,90	12,17	1,84	0,00	295,03
4,00	1,634	197,43	51,32	32,20	9,49	1,55	292,18
5,00	1,229	148,50	38,60	42,87	25,63	8,18	263,78
6,00	0,925	111,70	29,03	36,00	34,13	21,65	232,50
7,00	0,695	84,01	21,84	27,08	28,66	28,82	190,40
7,60	0,586	70,82	21,84	20,37	21,56	24,20	158,77
8,00	0,543	65,58	18,41	15,32	16,21	18,20	133,72
9,00	0,449	54,24	17,05	12,91	12,19	13,69	110,08
10,00	0,371	44,86	14,10	11,96	10,28	10,30	91,49
11,00	0,307	37,10	11,66	9,89	9,52	8,68	76,85
12,00	0,254	30,69	9,64	8,18	7,87	8,04	64,42
13,00	0,210	25,38	7,98	6,76	6,51	6,65	53,28
13,95	0,175	21,19	6,60	5,59	5,39	5,30	44,27
14,00	0,174	21,04	5,51	4,63	4,45	4,55	40,18

**Analisis Debit Andalan**

Penelitian ini menggunakan data debit air yang didapatkan dari Balai Wilayah Sungai (BWS) yang digunakan untuk menentukan debit andalan dari sungai santong dari Tahun 1994 sampai 2020. Nilai debit dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 7 Debit Air Per Bulan Dari Tahun 1994-2020

Bulan	Debit (m <sup>3</sup> /s)												
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2004	2005	2006	2007
Januari	1,87	1,09	1,06	2,75	0,37	3,14	1,46	1,67	1,31	1,35	1,02	2,78	0,81
Februari	3,1	1,27	0,93	2,14	0,32	5,52	1,34	2,14	2,5	1,86	1,68	3,29	0,81
Maret	3,98	1,16	1,39	2,22	0,25	3,35	1,64	1,3	1,48	1,33	1,29	2,22	2,43
April	1,79	1,23	1,24	2,29	0,3	2,14	2,73	2,47	1,25	1,05	1,42	1,68	1,28
Mai	1,55	0,93	1,01	1,95	0,18	2,54	1,98	1,38	1,04	0,94	0,59	1,32	0,76
Juni	0,65	0,83	0,74	1,25	0,27	0,99	1,32	1,64	0,66	0,56	0,42	0,88	0,85
Juli	0,44	0,71	0,43	0,53	0,69	0,79	1,06	0,8	0,42	0,35	0,32	0,6	0,56
Agustus	0,25	0,54	0,55	0,49	0,74	0,58	0,92	1,33	0,23	0,21	0,22	0,47	0,31
September	0,22	0,38	0,38	0,36	0,8	0,58	0,69	0,79	0,23	0,22	0,23	0,23	0,23
Oktober	0,29	0,51	1,47	0,26	1,79	1,61	0,9	1,6	0,25	0,21	0,92	0,18	0,23
November	0,69	1,26	1,5	0,27	1,83	2,83	2,19	2,1	0,55	0,94	1,33	0,31	1,13
Desember	1,52	1,23	1,59	0,33	1,09	1,68	1,21	1,8	1,09	2,11	1,61	0,88	2,44

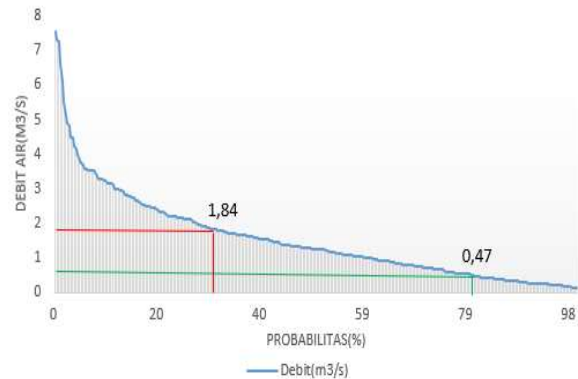
Menghitung probabilitas weibull

$$P_{150} = \frac{i}{(n+1)} \times 100\%$$

$$P_{150} = \frac{150}{(300+1)} \times 100\%$$

$$P_{150} = 49,83\%$$

Flow Duration Curve(m<sup>3</sup>/s)



Gambar 5 Flow Duration Curve debit air Sungai Santong

**Perencanaan Bendungan(Intake)**

Perencanaan bendungan meliputi besar dimensi dari bagian-bagian bendungan seperti lebar bendung, tinggi mercu, tinggi air hulu.

a. Menghitung Tinggi Muka Air

Persamaan tinggi muka bendung adalah sebagai berikut :

Diketahui:

- $Q_{100} = 295,03 \text{ (m}^3/\text{dt)}$ ,
- $C_d = 1,48 \text{ (mercu bulat)}$ ,
- $g = 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}$ ,
- lebar pilar = 0,5 dan 1,5
- $B = \text{lebar dasar sungai} = 14,47 \text{ (m)}$ ,

Sehingga

$$b_e = \text{lebar mercu} = 14,47 - (0,5+1,5)$$

$$b_e = \text{lebar mercu} = 12,47$$

Setelah diketahui lebar mercu ,selanjutnya dapat dihitung untuk dimensi tinggi muka air hulu,berikut perhitungannya:

$$Q_{100} = C_d \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot b_e} \cdot H_1^{1,5}$$

$$295,03 = 1,48 \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} \cdot 9,8 \cdot 12,47} \cdot H_1^{1,5}$$

$$H_1 = \sqrt[1,5]{\frac{295,03}{1,48 \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} \cdot 9,8 \cdot 12,47}}}$$

$$H_1 = 4,45 \text{ m}$$

**Perencanaan Saluran Pembawa**

Penentuan dimensi saluran pembawa, debit perencanaan yang digunakan diambil sebesar 120% dari debit desain yaitu sebesar 1,84 m<sup>3</sup>/s. Saluran pembawa air untuk

pembangkit listrik skala kecil kebanyakan memakai saluran terbuka dan saluran tersebut memiliki aliran *subkritis*. Perencanaan saluran pembawa ini dipilih penampang persegi dengan menggunakan pasangan batu. Dimensi saluran dihitung sebagai berikut:

Diketahui:

$$Q_d = 1,2 \times 1,84 = 2,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b = 2,5 \text{ m}$$

$$n = 0,035$$

$$\text{slope} = 0,0015$$

a. Mencari Tinggi Saluran

Saluran Pembawa dengan bentuk segi empat persegi dengan persamaan

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{n} \cdot \sqrt[3]{R^2} \cdot \sqrt{s} \quad \text{dimana } R = \frac{b \times h}{2h+b}$$

$$\frac{2,2 \times 0,035}{\sqrt{0,0015}} = \sqrt[3]{\left(\frac{2,7 \times h}{2h+2,7}\right)^2 \cdot 2,7h}$$

$$1,99 = \sqrt[3]{\left(\frac{2,5 \times h}{2h+2,5}\right)^2 \cdot 2,7h}$$

Solusi nilai h diperoleh dengan cara coba coba (*trial and error*) didapatkan nilai h = 1,05 m

b. Menghitung Kecepatan Aliran Air

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{2,2}{2,5 \times 1,05}$$

$$v = 0,77 \text{ m/s}$$

c. Menghitung Bilangan Froude

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \times h}}$$

$$Fr = \frac{0,77}{\sqrt{9,81 \times 1,05}}$$

$$Fr = 0,24$$

Diperoleh bilangan Fr < 1, maka aliran dalam saluran pembawa ini merupakan aliran sub kritis.

### Perencanaan Bak Penenang (*Headpond*)

Bak penenang berperan sebagai pengatur perbedaan air yang keluar dari pipa pesat dan saluran pembawa. Perencanaan kolam penenang yaitu untuk menghitung kedalaman dari kolam penenang.

a. Menghitung Kecepatan Jatuh Sedimen

$$w = \frac{Q_d}{l \cdot b}$$

$$w = \frac{1,84}{10 \cdot 7,5}$$

$$w = 0,024 \text{ m/s}$$

b. Menghitung Kedalaman Kolam Penenang

$$h = \frac{l \cdot w}{v}$$

$$h = \frac{10 \cdot 0,024}{0,1}$$

$$h = 2,45 \text{ m}$$

### Perencanaan Pipa Pesat (*Penstock*)

Pipa pesat merupakan pipa yang direncanakan untuk dapat menahan tekanan tinggi dan berfungsi untuk mengalirkan air dari kolam penampungan menuju turbin. Perencanaan pipa pesat mencakup diameter pipa dan tebal pipa.

a. Menghitung Diameter Optimum Pipa Pesat:

$$D = \frac{1,517 \cdot Q^{0,5}}{h^{0,25}}$$

$$D = \frac{1,517 \cdot 1,84^{0,5}}{360,25^{0,25}}$$

$$D = 0,85 \text{ m}$$

### Perhitungan Tinggi Jatuh Efektif

Perhitungan tinggi efektif atau head efektif dapat dicari dengan mengurangi Head *gross* dengan Head *losses*. Head *losses* atau rugi rugi head didapatkan dari adanya gesekan pada pipa pesat, berikut merupakan perhitungannya.

$$\frac{k}{D} = \frac{0,000025}{0,85} = 2,94 \times 10^{-5}$$

$$Re = v \frac{D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = 3,24 \frac{0,85 \cdot 1000}{0,001002}$$

$$Re = 2,75 \times 10^6$$

Nilai  $\frac{k}{D}$  dan bilangan *reynold* digunakan untuk menentukan nilai koefisien kekasaran pipa dengan melihat grafik *moody*. Nilai yang paling sesuai adalah:

$$f = 0,015$$

a. Menghitung Head losses

Head losses merupakan kehilangan energi yang disebabkan gesekan didalam pipa. Diketahui:

$$h_e = f \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$h_e = 0,015 \frac{90}{0,85} \cdot \frac{3,24^2}{2(9,81)}$$

$$h_e = 0,85 \text{ m}$$

d. Menghitung Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif merupakan parameter penentu besar daya yang dihasilkan oleh PLTMH.

$$H_{eff} = H_{actual} - H_{losses}$$

$$H_{eff} = 36 - 0,852$$

$$H_{eff} = 35,15 \text{ m}$$

### Perhitungan Daya Dan Energi Listrik

a. Menghitung Potensi Daya Listrik

Besarnya kapasitas pembangkitan dapat dihitung dengan persamaan 2-30

$$P = \rho \times Q \times g \times H_{eff} \times \eta_t \times \eta_g$$



$$P = 1,84 \times 9,81 \times 35,57 \times 0,92 \times 0,96$$

$$P = 554,242 \approx 550 \text{ kw}$$

Rencana *PLTM* Santong direncanakan dengan debit 1,84 m<sup>3</sup>/s ( $Q_{30\%}$ ) sebagai debit rencana. Kapasitas daya rencana adalah 550 kW. Pembangunan *PLTM* Santong direncanakan untuk disuplai ke sistem grid/PLN.

b. Menghitung Produksi Tahunan Energi Listrik.

$$E = P \times \text{Probabilitas} \times \text{Jumlah hari setahun} \times \text{Jumlah jam sehari}$$

$$E = 550 \times 30\% \times 365 \times 24$$

$$E = 1\,445\,400 \text{ kWh}$$

$$E = 1\,445,4 \text{ MWh}$$

### Perencanaan Pemilihan Turbin

Pemilihan jenis turbin yang sesuai untuk *PLTM* dapat dipengaruhi beberapa parameter diantaranya adalah nilai debit, nilai head dan kecepatan spesifik Menentukan Kecepatan Putar Turbin

Diketahui:

$$P_T = 13,33 (0,92)(1,84)(35,15) = 792,52 \text{ Hp}$$

$$H = 35,15 \text{ m}$$

1. Konstanta Spesifik

$$Nq = \frac{1,924}{H^{0,512}}$$

$$Nq = \frac{1,924}{35,15^{0,512}}$$

$$Nq = 0,311$$

2. Kecepatan putar turbin

$$n = \frac{Nq (g \times h)^{0,75}}{Q^{0,5}} \times 60$$

$$n = \frac{0,311 (9,81 \times 35,15)^{0,75}}{1,84^{0,5}} \times 60$$

$$n = 1100,5 \approx 1000 \text{ Rpm}$$

a. Menghitung Kecepatan Spesifik

Diketahui:

$$n = 1000 \text{ Rpm}$$

$$P_t = 792,52 \text{ Hp}$$

$$H_{\text{eff}} = 35,15 \text{ m}$$

Sehingga:

$$n_s = n \frac{P^{0,5}}{h^{5/4}}$$

$$n_s = 1000 \frac{736,25^{0,5}}{(35,57)^{5/4}}$$

$$n_s = 328,94 \text{ Rpm}$$

Mengacu pada tabel 1 Daerah Operasi Turbin, nilai yang paling sesuai dari hasil  $n_s = 328,94 \text{ Rpm}$  adalah Turbin *Francis*.

### Perencanaan Pemilihan Generator

Generator yang akan digunakan yaitu generator sinkron 3 fasa karena potensi daya yang akan dihasilkan melebihi 30 kW. Spesifikasi generator dapat dilihat dari beberapa parameter diantaranya adalah rating kVA, rating arus dan jumlah kutub dari generator.

Diketahui :

a. Menghitung Rating kVA Generator

$$S = \frac{P}{\cos \phi}$$

$$S = \frac{550}{0,8}$$

$$S = 687,5 \text{ kVA}$$

b. Menghitung Rating Arus Generator

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

$$I = \frac{687,5}{\sqrt{3} \cdot 6600}$$

$$I = 60,14 \text{ A}$$

c. Menghitung Jumlah Kutub Generator

$$p = \frac{120 \cdot F}{n}$$

$$p = \frac{120 \cdot 50}{1000}$$

$$p = 6 \text{ Kutub}$$

### KESIMPULAN

- Rencana Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro dengan aliran Sungai Santong didapatkan hasil debit rencana. Debit desain didapatkan hasil dengan probabilitas kejadian 30% sebesar 1,84 m<sup>3</sup>/s dan debit andalan dengan probabilitas sebesar 0,47 m<sup>3</sup>/s, sedangkan debit banjir atau limpasan didapatkan hasil sebesar 295,03 m<sup>3</sup>/s.
- Rencana Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro didapatkan hasil perencanaan dimensi sebagai berikut:
  - Bendung dengan tinggi mercu 1 m, elevasi puncak mercu +492,00 mdpl, dengan lebar mercu bendung 12,47 m dan tinggi energi diatas mercu 4,45 m.
  - Saluran pembawa dari pasangan batu dengan lebar 2,7 m, panjang 650 m dan kedalaman 1,05 m serta kecepatan air sebesar 0,77 m/s.
  - Kolam Penenang dengan dimensi panjang 10 m, lebar 7,5 m dan kedalaman 2,45 m, serta kecepatan jatuh sedimen 0,025 m/s.

- d. *Penstock* dengan tipe pipa baja diameter 0,85 m, tebal 5,375 mm sepanjang 90 m .
3. Rencana Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro didapatkan hasil untuk potensi daya yang dapat dibangkitkan sebesar 550 kW dan produksi energi tahunan sebesar 1445,4 MWh.
  4. Rencana Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro didapatkan hasil pemilihan jenis turbin yang digunakan adalah turbin francis dengan putaran turbin sebesar 1000 Rpm dan kecepatan putaran spesifik sebesar 328,94 Rpm. Jenis generator yang digunakan adalah generator sinkron 3 fasa dengan spesifikasi rating sebesar 687,5 kVA dan jumlah kutub sebanyak 6 kutub.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Al-Haidi, Hafiz. (2017). *Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Bendung Katulampa Kota Bogor*. Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Antony. (2020). *Kajian Ekonomi Rencana PLTMH Di Desa Panji*. Jurnal Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 19, No. 2, Buleleng.
- Arismunandar, A., dan Kuwahara S. (1972). *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik, Jilid I Pembangkitan Dengan Tenaga Air*, PT Pradnya Paramita: Jakarta.
- Bagia, N. (2018). *Motor Motor Listrik Untuk Mahasiswa Dan Umum*, CV Rasi Terbit, Kupang.
- Budiantara. (2019). *Redesain Dan Analisa Kelayakan PLTM 25 KW Desa Susuan Karangasem Bali*. Jurnal Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 18, No. 3, Denpasar
- Hatma, W. G. D dan Soedjoko, S.A. (2010). *Buku Ajar Hidrologi Hutan*, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- IMIDAP, (2009). *Pedoman Studi Kelayakan PLTMH Cetakan kedua*. Direktorat Jenderal Pemanfaatan energi Departemen Energi dan Sumber daya Mineral. Kuningan, Jakarta.
- Kurniawan, A., dkk, (2009). *Buku 2C Pedoman Studi Kelayakan Mekanikal Elektrikal*, Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Mantiri, H. (2018). *Perencanaan Pembangkit Listrik Minihidro Sungai Moayat*. Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Dan Komputer, Vol. 7, No. 3, Manado.
- Mawardi, E. (2015). *Desain Hidrolik Bendung Tetap Untuk Irigasi Teknis*, Alfabeta, Bandung.
- Nuridin. (2017). *Analisis Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Dengan Pembuatan Kolam Tando Studi Kasus Sungai Way Kunyir Menggunakan Jenis Turbin Crossflow*, J. Tek. Mesin, vol. 4, no. 2, pp. 5–12.
- Patty, F. (2000). *Tenaga Air, Edisi Pertama*, Erlangga, Jakarta.
- Purwanto. (2011). *Analisis Finansial dan Ekonomi Pembangkit Listrik Mikrohidro di Beberapa Lokasi Propinsi Jawa Tengah, Indonesia*. Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan 8, no. 4 (Desember). 251 - 264.
- Putro, Y.S.S, dkk (2012). *Perencanaan PLTMH Sungai Atei, Desa Tumbang Atei Kecamatan Sanamang Mantikai Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah*, Jurnal, Universitas Brawijaya
- Setya, Yusuf. (2017). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Desa Sutopati*, Jurnal ,Insiut Teknoogi 10 November. Surabaya.
- Suripin, (2003). *Sistem Drainase Kota Yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Suryanto, Agus. (2020). *Analisis Efisiensi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Homer*. Jurnal Listrik, Instrumentasi dan Elektronika Terapan, Vol. 1, No. 2, Semarang.
- Triatmodjo, Bambang. (2010). *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Winarto, Wismo F. (2018). *Pembangunan PLTMH di Desa Girikerto Kecamatan Turi Kabupaten Sleman*. ISSN, Vol. 4, No. 3, hlm. 175-184, Sleman.
- Yuniarti, N. dan Aji, I. W. (2019). *Modul Pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik*, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.