

ANALISA DEBIT (Q) DAN TINGGI JATUH (HEAD) TERHADAP DAYA YANG DIHASILKAN (Studi Kasus : Air Terjun Sungai Lahundape Kota Kendari)

¹Cindy Ayu Kalista, ²Ahmad Syarif Sukri, ³Tryantini Sundi Putri

^{1, 2, 3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo

Koresponden Author : tryantinisputri@uho.ac.id

ABSTRAK

Air terjun sungai Lahundape adalah salah satu potensi alam yang dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan untuk menjadi pembangkit listrik tenaga air, yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap pembangkit listrik tenaga diesel. Sehingga tujuan studi ini agar mengetahui daya yang efisien dihasilkan, dari perbandingan debit pengukuran aliran sungai dan debit keandalan terhadap pengaruh ketinggian jatuh air di air terjun sungai Lahundape.

Penelitian ini, dilakukan dengan pengukuran langsung sungai Lahundape untuk mengetahui debit sungai dan ketinggian jatuh air (*head*). Untuk analisa hidrologi, dibutuhkan data curah hujan (2007-2016), data klimatologi, dan ketersediaan air. Untuk debit andalan menggunakan metode F.J. Mock dengan peluang 80% untuk pembangkit listrik tenaga air.

Dari hasil penelitian ini menunjukkan untuk peluang rerata debit andalan 80% yaitu 0,019 m³/s pada tahun 2015. Dapat menghasilkan daya yang paling efektif selama 9 bulan sebesar 1,46 kW– 4,28 kW yang dapat melayani 3 KK – 9 KK, sedangkan untuk 3 bulan tidak dapat menghasilkan daya. Untuk debit pengukuran sebesar 0,050 m³/s menghasilkan daya sebesar 5,40 kW yang dapat melayani 12 KK. Untuk 3 bulan yang tidak menghasilkan daya, diperkirakan masih dapat membangkitkan daya sebesar 5,40 kW dari debit pengukuran. Maka dari hasil perhitungan daya, dapat direncanakan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dengan menggunakan jenis turbin propeller.

Kata Kunci : Hidrologi, Debit, *Head*, Daya, PLTA

ABSTRACT

Lahundape river waterfall is one of the natural potential that can be used as renewable energy to be a hydroelectric power plant, which can reduce dependence on diesel power plants, So the purpose of this study in order to determine an efficient power generated, the comparison discharge stream and flow measurement reliability of the effect of falling water at the height of the waterfall of the river Lahundape.

This study, carried out by direct measurement Lahundape river to determine the height of fall streamflow and water (head). For analisa hydrology, needed rainfall data (2016-2007), climatological data, and the availability of water. To discharge mainstay FJ Mock method with a 80% chance for hydroelectricity.

From results of this study showed for the average debit mainstay opportunities 80%, ie 0,019 m³ / s in 2015 to produce the most effective power for 9 months amounted to 1.46 kW- 4.28 kW to serve 3 KK - 9 KK, while for 3 months can not generate power. To discharge measurements of 0,050 m³ / s to produce power of 5.40 kW to serve 12 households. For the three months that do not generate power, is still expected to generate a power of 5.40 kW of discharge measurements. Then from the calculation of power, can be planned micro hydro power plant (MHP) by using this type of turbine propeller.

Keywords : Hydrology, Discharge, Head, Power, Hydropower

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi semakin meningkat sejalan meningkatnya perkembangan kebutuhan manusia. Dengan makin menipisnya sumber energi yang memanfaatkan bahan bakar minyak (BBM), maka dilakukanlah berbagai macam pemanfaatan sumber energi. Energi baru dan terbarukan merupakan salah satu solusinya.

Pemanfaatan sumber daya alam berupa air sangat potensial untuk membangkitkan energi berupa daya listrik. Di Indonesia banyak daerah-daerah terpencil yang belum terjangkau oleh layanan listrik, ini disebabkan terbatasnya layanan dan jangkauan. Dilain pihak di sekitar daerah-daerah yang tak terjangkau listrik terdapat sumber air yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi melalui Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Sungai Lahundape yang hulunya berada di Wawobungi Kabupaten Konawe dan hilirnya

berada di Kota Kendari, Kecamatan Kendari Barat belum dimanfaatkan.

Oleh sebab itu sudah selayaknya dikembangkan potensi sumber daya air untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah tersebut. Salah satu pemanfaatan potensi sumber daya air yaitu melalui pembangkit listrik tenaga air. Pembangkit listrik ini menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit.

1.2. Tujuan Masalah

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menghitung debit andalan ($Q_{andalan}$) dan debit pengukuran sungai Lahundape (Q_{sungai}).
2. Untuk menentukan pengaruh tinggi jatuh sungai Lahundape.
3. Mengidentifikasi besarnya daya yang paling efektif dihasilkan dari air terjun sungai Lahundape.

1.3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat, untuk mengetahui sumber daya alam yang berpotensi untuk dijadikan PLTA di air terjun sungai Lahundape sebagai sumber tenaga listrik bagi pemukiman masyarakat setempat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sumber Air

Air baku bagi suatu penyediaan air bersih sangat penting, karena selain kuantitas harus mencukupi dari segi kualitas akan berpengaruh terhadap proses pengolahan. Disamping itu letak sumber daya air dapat mempengaruhi bentuk jaringan transmisi, distribusi dan sebagainya. Secara umum sumber daya air dapat dikategorikan sebagai air hujan dan air permukaan.

2.2. Energi

Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha (kerja) atau melakukan suatu perubahan. Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi dapat dirubah bentuknya. Menurut sumber didapatnya, energy terbagi menjadi energi tak terbarukan dan energi terbarukan. Salah satu energy terbarukan adalah pembangkit listrik tenaga mikro hidro, yang di Indonesia dapat di buat karena banyak sungai dan banyak daerah yang belum terjangkau oleh

jaringan listrik negara (PLN) (Dwiyanto dkk, 2016).

2.3. Karakteristik Sungai

Sungai mempunyai fungsi mengumpulkan curah hujan dalam suatu daerah tertentu dan mengalirkannya ke laut.

2.4. Analisis Hidrologi

Analisa hidrologi dilakukan untuk dapat menterjemahkan perilaku alam yang dapat digunakan untuk mengartikan, menetapkan dan memperkirakan besaran-besaran alam tersebut dalam berbagai keadaan dan rentang waktu tertentu. Dalam hal ini berarti bahwa analisis hidrologi akan didasarkan pada data yang tersedia, yang memberikan gambaran perilaku sistem dan akan menggunakan hasil analisis untuk mengekstrapolasikan informasi hidrologi tersebut untuk masa-masa berikutnya.

2.4.1. Parameter Statistik

Parameter yang digunakan dalam perhitungan analisis parameter statistik meliputi:

1. Standar deviasi (Sd)

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

2. Koefisien Skewness (C_s)

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

3. Koefisien Kurtosis (C_k)

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x - \bar{X})^4}{S^4} \dots\dots\dots (3)$$

4. Koefisien Variasi (C_v)

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \dots\dots\dots (4)$$

2.4.2. Pemilihan Jenis Distribusi

Penentuan jenis metode akan digunakan untuk analisis frekuensi dilakukan dengan beberapa asumsi sebagai berikut :

1. Metode Distribusi Normal

Distribusi normal dua parameter bisa digunakan untuk menghitung frekuensi hujan harian maksimum dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$x_T = \bar{x} + S_x \cdot Kt \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

- Xt : Besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun
- \bar{x} : Curah hujan rata – rata
- Kt : Standar variabel untuk periode ulang tahun
- S_x : Standar deviasi

2. Metode Distribusi Log Normal

Distribusi log-Pearson Type III akan menjadi distribusi log Normal apabila nilai koefisien kemencengan CS = 0,00. Adapun rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rencana dengan Metode Log Normal adalah sebagai berikut :

$$x_T = \bar{x} + S_x \cdot K_T \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

- Xt : Besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun
- \bar{x} : Curah hujan rata – rata
- Kt : Standar variabel untuk periode ulang tahun
- S_x : Standar deviasi

3. Metode Distribusi Log Pearson Type III

Distribusi Log Pearson Tipe III atau Distribusi Extrim Tipe III digunakan untuk analisis variabel hidrologi dengan nilai varian minimum misalnya analisis frekwensi distribusi dari debit minimum (*low flows*). Distribusi Log Pearson Tipe III, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skewness*) atau CS ≠ 0. Hitungan nilai logaritma curah hujan rencana (*log X_T*) untuk setiap periode ulang dengan rumus berikut ini:

$$\log X_T = \bar{x} + KxS \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

- Log X_T : Besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun
- \bar{x} : Curah hujan rata – rata
- K : Standar variabel untuk periode ulang tahun
- S_x : Standar deviasi

4. Metode Distribusi Gumbel

Distribusi Gumbel digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekwensi banjir. Distribusi Gumbel mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skewness*)

atau CS = 1,139 dan koefisien kurtosis (*Coeficient Curtosis*) atau Ck < 4,002. Pada metode ini biasanya menggunakan distribusi dan nilai ekstrim dengan distribusi dobel eksponensial. Hitung harga curah hujan rencana (x_T) untuk setiap periode ulang adalah sebagai berikut :

$$x_T = \bar{x} + S_x \cdot K \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

- Xt : Besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun
- \bar{x} : Curah hujan rata – rata
- Kt : Standar variabel untuk periode ulang tahun
- S_x : Standar deviasi

2.4.3. Uji Kecocokan Distribusi

Uji keselarasan dimaksudkan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan yang nyata antara besarnya debit maksimum tahunan hasil pengamatan lapangan dengan hasil perhitungan. Uji keselarasan dapat dilaksanakan dengan metode berikut ini:

1. Metode Chi Kuadrat

Rumus yang digunakan dalam menghitung uji keselarasan metode Chi Kuadrat adalah :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(Of - Ef)^2}{Ef} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana:

- X² : Parameter Chi-Kuadrat terhitung.
- Ef : Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya.
- Of : Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama.
- n : Jumlah sub kelompok.

2. Metode Smirnov-Kolmogorof (Secara Analitis)

Metode Smirnov-Kolmogorof dapat dilakukan secara analitis.

2.4.4. Analisa Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi. Rumus ini digunakan apabila data curah hujan yang tersedia hanya curah hujan harian berikut ini:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \frac{24^{2/3}}{t} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana:

- I : Intesitas Hujan (mm/jam)
- R₂₄ : Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)
- t : Lamanya curah hujan (jam)

2.4.5. Debit Rencana

Metode Rasional pada daerah pengaliran dengan beberapa sub daerah pengaliran dapat dilakukan dengan pendekatan nilai C gabungan atau C rata-rata dan intensitas hujan dihitung berdasarkan waktu konsentrasi yang terpanjang. Rumus umum dari Metode Rasional adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

- Q : Debit puncak limpasan permukaan (m³/det).
- C : Angka pengaliran (tanpa dimensi).
- A : Luas daerah pengaliran (km²).
- I : Intensitas curah hujan (mm/jam).

2.4.6. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah sama dengan kebutuhan air konsumtif yang didefenisikan sebagai penguapan total dari lahan dan air yang diperlukan oleh tanaman.

$$ET_p = c [W \cdot R_n + (1-W) f(u) (E_a - E_d)] \dots (12)$$

Dimana:

- ET_p : Evapotranspirasi potensial (mm/hari)
- c : Faktor koreksi penman dapat dilihat pada tabel koreksi penman.
- W : Faktor bobot tergantung dari temperatur udara dan ketinggian tempat
- R_n : Radiasi neto ekivalen dengan evaporasi (mm/hari)
- (E_a - E_d) : Selisih tekanan uap jenuh dan actual pada temperatur rata-rata udara (mbar),
- f(u) : Fungsi kecepatan angin

2.4.7. Debit Andalan

Debit andalan (*dependable discharge*) adalah besarnya debit yang tersedia sepanjang tahun dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan.

Tingkat keandalan debit tersebut dapat terjadi, berdasarkan probabilitas kejadian mengikuti rumus Weibull berikut ini:

$$P = i/(n+1) \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

Dimana:

- P : Probabilitas terjadinya kumpulan nilai yang diharapkan selama periode pengamanan (%)
- n : Jumlah data
- i : Nomor urut debit.

Analisa debit berdasarkan data curah hujan yang sering dilakukan adalah menggunakan metode empiris dari Dr. F. J. Mock yaitu analisis keseimbangan air untuk menghitung harga debit bulanan berdasarkan transformasi data curah hujan bulanan, evpotranspirasi, kelembaban tanah dan tampungan air tanah.

$$E = ET_p \cdot \left(\frac{m}{20}\right) \cdot (18 - n) \dots\dots\dots (13)$$

$$ET_a = ET_p - \Delta E \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :

- ΔE : Beda antara evapotranspirasi potensial dengan evapotranspirasi terbatas (mm)
- ET_p : Evapotranspirasi potensial (mm/bulan)
- ET_a : Evapotranspirasi aktual (mm/bulan)
- M : Singkapan lahan (*Exposed Surface*) (dapat dilihat pada Tabel bukaan lahan menurut F. J. Mock)
- n : Jumlah hari hujan

Langkah-langkah perhitungan debit metode F. J. Mock yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan evapotranspirasi potensial (ET_p) dengan metode penman
2. Menentukan evapotranspirasi aktual (ET_a)
3. Menentukan besar hujan dipermukaan tanah (D_s)
4. Menentukan harga kelembapan tanah (SMC)
5. Menentukan koefisien infiltrasi (i)
6. Asumsi nilai penyimpanan awal (initial storage)
7. Menentukan faktor resesi aliran air tanah (k)
8. Menentukan kelebihan air tanah (*Water Surplus*)
9. Menentukan penyimpanan air tanah (*Ground water Storage*)
10. Menentukan aliran dasar dan aliran langsung.
11. Menentukan debit yang tersedia di sungai.

2.5. Debit Air

Debit air merupakan jumlah volume air yang mengalir dalam waktu tertentu melalui suatu penampang air, sungai, saluran, pipa atau kran

Menentukan aliran volumetrik atau debit air Q dapat menggunakan rumus:

$$Q = v \times A \quad \dots\dots\dots (15)$$

Dimana:

- Q : Debit air (m³/s)
- v : Kecepatan aliran (m/s)
- A : Luas penampang (m²)

2.6. Tenaga Air

Tenaga air merupakan sumber daya terpenting yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik atau sumber energy. Aliran air pada ketinggian tertentu (*energy potensial*) dengan adanya gaya gravitasi dapat diarahkan untuk menggerakkan turbin yang akan menghasilkan energy mekanik. Apabila poros turbin air tersebut dikaitkan dengan poros generator listrik maka akan dibangkitkan tenaga listrik.

2.7. Turbin Air

Turbin air adalah alat untuk mengubah energy potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini yang akan diubah menjadi energy listrik oleh generator. Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengunah energi potensial air menjadi energy kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

2.8. Daya Yang Terbangkitkan

Dimana dalam menghitung daya yang terbangkitkan oleh turbin, yaitu sebagai berikut:

$$P = Q \times H \times g \times \eta \quad \dots\dots\dots (16)$$

Dimana:

- P : Daya (Watt)
- Q : Debit (m³/detik)
- H : Beda Ketinggian/*Head* (m)
- g : Percepatan Gravitasi = 9,8 m/s²
- η : Efisiensi sistem turbin dan generator (%)
dimana untuk efisiensi turbin:
0,8 – 0,85 untuk turbin pelton
0,8 – 0,9 untuk tubin francis

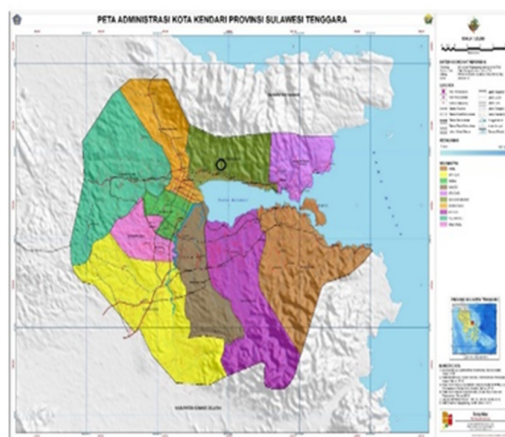
0,7 – 0,85 untuk turbin crossflow

0,8 – 0,9 untuk turbin propeller

3. METODOLOGI PENELITIAN

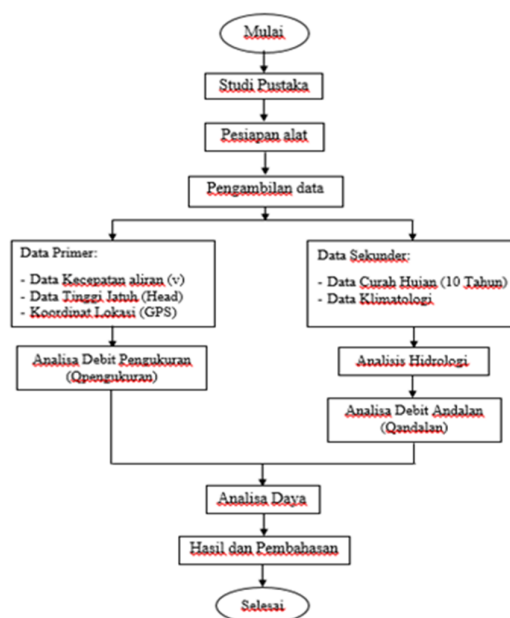
3.1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2017 sampai Oktober 2017. Lokasi penelitian ini, dilakukan di air terjun sungai Lahundape yang berada di Kelurahan Kemaraya, Kecamatan Kendari Barat, Kota Kendari, Sulawesi Tenggara.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 bagan alur berikut ini.



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Hidrologi

4.1.1. Analisa Parameter Statistik

Tabel 4.1. Curah Hujan Minimum DAS Sungai Wanggu

No	Tahun	Curah Hujan Area (mm)
1	2016	6,0
2	2015	6,5
3	2014	2,5
4	2013	4,0
5	2012	5,0
6	2011	9,0
7	2010	5,0
8	2009	7,0
9	2008	5,0
10	2007	3,0

Tabel 4.2. Pengukuran Dispersi Normal

No	Tahun	R (mm)	Rt (mm)	(R - Rt)	(R - Rt) ²	(R - Rt) ³	(R - Rt) ⁴
1	2016	6,0	5,30	0,700	0,490	0,343	0,240
2	2015	6,5		1,200	1,440	1,728	2,074
3	2014	2,5		-2,800	7,840	-21,952	61,466
4	2013	4,0		-1,300	1,690	-2,197	2,856
5	2012	5,0		-0,300	0,090	-0,027	0,008
6	2011	9,0		3,700	13,690	50,653	187,416
7	2010	5,0		-0,300	0,090	-0,027	0,008
8	2009	7,0		1,700	2,890	4,913	8,352
9	2008	5,0		-0,300	0,090	-0,027	0,008
10	2007	3,0		-2,300	5,290	-12,167	27,984
Jumlah		53,0		0,000	33,600	21,240	290,412

1. Standar Deviasi (S_d)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_t)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{33,60}{10-1}} = 1,932$$

2. Koefisien skewness (C_s)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (R_i - R_t)^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} = \frac{10 \times 21,24}{(10-1)(10-2)(1,932^3)} = 0,409$$

3. Koefisien Kurtosis (C_k)

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (R_i - R_t)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4} = \frac{10^2 \times 290,41}{(10-1)(10-2)(10-3)(1,932^4)} = 4,134$$

4. Koefisien Variasi (C_v)

$$C_v = \frac{S_d}{R_t} = \frac{1,932}{5,30} = 0,365$$

Tabel 4.3. Pengukuran Dispersi Logaritma

No	Tahun	R (mm)	R=Log Ri	Rt (mm)	(R - Rt)	(R - Rt) ²	(R - Rt) ³	(R - Rt) ⁴
1	2016	6,0	0,778	0,696	0,082	0,007	0,00055	0,00004
2	2015	6,5	0,813		0,116	0,014	0,00158	0,00018
3	2014	2,5	0,398		-0,299	0,089	-0,02660	0,00794
4	2013	4,0	0,602		-0,094	0,009	-0,00084	0,00008
5	2012	5,0	0,699		0,003	0,000	0,00000	0,00000
6	2011	9,0	0,954		0,258	0,066	0,01713	0,00442
7	2010	5,0	0,699		0,003	0,000	0,00000	0,00000
8	2009	7,0	0,845		0,149	0,022	0,00328	0,00049
9	2008	5,0	0,699		0,003	0,000	0,00000	0,00000
10	2007	3,0	0,477		-0,219	0,048	-0,01055	0,00231
Jumlah		6,964		0,000	0,255	-0,01544	0,01547	

1. Standar Deviasi (S_d)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log R_i - R_t)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,255}{10-1}} = 0,168$$

2. Koefisien skewness (C_s)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log R_i - R_t)^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} = \frac{10 \times (-0,015)}{(10-1)(10-2)(0,168^3)} = -0,450$$

3. Koefisien Kurtosis (C_k)

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (\log R_i - R_t)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4} = \frac{10^2 \times 0,015}{(10-1)(10-2)(10-3)(0,168^4)} = 3,825$$

4. Koefisien Variasi (C_v)

$$C_v = \frac{S_d}{R_t} = \frac{0,168}{0,696} = 0,242$$

Dari parameter statistik yang diatas, akan diperoleh metode distribusi yang memenuhi untuk digunakan dengan mengacu pada parameter statistik berikut ini.

Tabel 4.4. Pemilihan Metode Distribusi

Jenis Distribusi	Syarat	Perhitungan	Keterangan
Normal	$C_s \approx 0$	$C_s = 0,41$	Tidak memenuhi
	$C_k \approx 3$	$C_k = 4,13$	Tidak memenuhi
Gumbel	$C_s \leq 1,1396$	$C_s = 0,41$	Memenuhi
	$C_k \leq 5,4002$	$C_k = 4,13$	Memenuhi
Log Pearson III	$C_s \neq 0$	$C_s = -0,45$	Memenuhi
Log Normal	$C_s \approx 3C_v + (C_v^3)$	$3C_v + (C_v^3) = 0,74$	Tidak memenuhi
	$C_k \approx C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$	$C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3 = 3,99$	Tidak memenuhi

4.1.2. Analisa sebaran

1. Distribusi Normal

$$X_T = Rt + Sx \cdot k$$

$$= 5,30 + (1,932 \times 0)$$

$$= 5,300 \text{ mm}$$

Tabel 4.8. Analisa Curah Hujan Rencana Distribusi Normal

Periode Ulang (Tahun)	Peluang	Kt	Xt (mm)
2	0,5	0	5,300
5	0,2	0,84	6,923
10	0,1	1,28	7,773
25	0,04	1,708	8,600
50	0,02	2,05	9,261
100	0,01	2,33	9,802

2. Distribusi Log Normal

$$\text{Log } X_T = Rt + Sx \cdot kt$$

$$= 0,696 + (0,168 \times 0)$$

$$= 0,696 \text{ mm}$$

Anti $\text{Log } X_T = 4,971$

Tabel 4.5. Analisa Sebaran Distribusi Log Normal

Periode Ulang (Tahun)	Kt	Log Xt	Xt (mm)
2	0	0,696	4,971
5	0,84	0,838	6,884
10	1,28	0,912	8,163
25	1,708	0,984	9,636
50	2,05	1,041	11,002
100	2,33	1,089	12,263

3. Distribusi Log Pearson Type III

$$\text{Log } X_T = Rt + Sx \cdot k$$

$$= 0,696 + (0,168 \times 0,074)$$

$$= 0,709 \text{ mm}$$

Anti $\text{Log } X_T = 5,116 \text{ mm}$

Tabel 4.6. Analisa Curah Hujan Rencana Distribusi Log Pearson Type III

Periode Ulang (Tahun)	k	Log Xt	Xt (mm)
2	0,074	0,709	5,116
5	0,855	0,840	6,925
10	1,223	0,902	7,986
25	1,587	0,963	9,193
50	1,806	1,000	10,007
100	1,992	1,032	10,756

4. Distribusi Gumbel

$$Y_T = -\ln\{-\ln\frac{T_r-1}{T_r}\} = -\ln\{-\ln\frac{2-1}{2}\} = 0,367$$

$$k = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} = \frac{0,367 - 0,4952}{0,9496} = -0,136$$

$$X_T = Rt + Sx \cdot k$$

$$= 5,30 + (1,932 \times (-0,136))$$

$$= 5,038 \text{ mm}$$

Tabel 4.7. Analisa Curah Hujan Rencana Distribusi Gumbel

Periode Ulang (Tahun)	Yn	Sn	Yt	K	Xt (mm)
2	0,4952	0,9496	0,367	-0,136	5,038
5	0,4952	0,9496	1,500	1,058	7,344
10	0,4952	0,9496	2,250	1,848	8,871
25	0,4952	0,9496	3,199	2,847	10,801
50	0,4952	0,9496	3,902	3,588	12,232
100	0,4952	0,9496	4,600	4,323	13,652

4.1.3. Distribusi Terpilih

Tabel 4.8. Distribusi Terpilih

No.	Jenis Distribusi	Uji Kesesuaian Distribusi					
		Uji Chi-Kuadrat			Uji Smirnov-Kolmogorof		
		Chi ²	Chi _{kritik}	Syarat : Chi ² ≤ Chi _{kritik}	Δ _{max}	Δ _{kritik}	Syarat : Δ _{max} ≤ Δ _{kritik}
1.	Normal	1,000	5,991	diterima	0,294	0,410	diterima
2.	Log Normal	1,000		diterima	0,162		diterima
3.	Log Pearson III	1,000		diterima	0,162		diterima
4.	Gumbel	2,000		diterima	0,294		diterima

Dari hasil uji kecocokan Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorof dari tabel diatas metode distribusi Log Pearson Type III akan menjadi acuan untuk perhitungan intensitas curah hujan.

4.1.4. Debit Banjir Rencana

Perhitungan besarnya debit banjir rencana dengan metode rasional modifikasi menggunakan rumus berikut:

$$Q_t = 0,278 \times C \times I_T \times A$$

$$= 0,278 \times 0,80 \times 2,85 \times 2,3273$$

$$= 1,477 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Tabel 4.9. Debit banjir rencana

Periode Ulang (Tahun)	R _{maks} (mm)	Tc (Jam)	It (mm/Jam)	A (km ²)	Q (m ³ /dtk)
2	5,116	0,490	2,85	2,3273	1,477
5	6,925		3,86	2,3273	2,000
10	7,986		4,46	2,3273	2,306
25	9,193		5,13	2,3273	2,655
50	10,007		5,58	2,3273	2,890
100	10,756		6,00	2,3273	3,106

4.1.5. Evapotranspirasi

Perhitungan evapotranspirasi diperoleh dari data curah hujan 10 tahun (2007-2016) dan data klimatologi. Berdasarkan data-data yang digunakan maka diperoleh perhitungan evapotranspirasi metode penman pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Rekapitulasi Evapotranspirasi Metode Penman

Tahun	Rekapitulasi Evapotranspirasi Penman Modifikasi											
	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
2016	7,27	6,32	5,46	4,74	4,50	3,72	4,45	7,56	7,58	11,26	10,80	9,34
2015	3,30	3,79	3,45	3,40	2,89	2,29	3,09	3,44	2,38	2,58	5,23	5,12
2014	3,27	2,64	3,08	4,96	1,44	0,84	0,50	2,62	-0,47	3,49	5,44	3,84
2013	3,74	3,90	7,99	6,18	4,24	4,76	6,91	7,19	7,83	10,64	8,95	7,39
2012	17,46	17,52	15,89	15,76	7,82	4,53	4,93	5,82	7,30	9,11	7,17	6,20
2011	6,33	6,40	5,99	5,44	4,27	4,89	5,40	6,47	7,41	8,30	8,86	7,12
2010	6,34	7,41	5,79	5,69	4,39	3,60	3,77	4,20	8,89	9,03	9,16	7,42
2009	5,81	6,53	5,76	5,81	5,25	4,96	5,46	6,91	8,89	9,03	9,16	7,42
2008	7,45	5,97	6,26	4,92	4,39	4,12	4,78	4,71	6,73	7,63	7,43	6,17
2007	7,07	6,76	6,08	5,46	5,37	3,76	5,71	5,92	7,55	8,78	8,10	6,95

4.1.6. Debit Andalan

Perhitungan debit andalan menggunakan metode F.J Mock yang mengacu pada data curah hujan dan data evapotraspirasi yang hasil perhitungannya disajikan dalam tabel berikut ini.

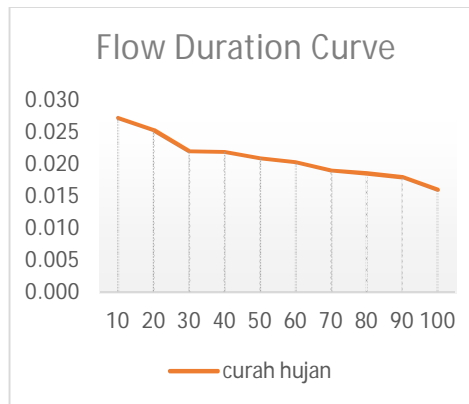
Tabel 4.11. Debit Andalan

Tahun	Debit Andalan (m³/s)												Rerata
	Bulan												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	
2016	0,022	0,028	0,039	0,038	0,024	0,024	0,022	0,022	0,018	0,036	0,025	0,025	0,027
2015	0,018	0,024	0,026	0,028	0,030	0,027	0,022	0,000	0,000	0,000	0,012	0,036	0,019
2014	0,028	0,013	0,023	0,034	0,027	0,026	0,030	0,024	0,000	0,000	0,012	0,047	0,022
2013	0,037	0,047	0,015	0,022	0,025	0,009	0,056	0,010	0,017	0,013	0,030	0,021	0,025
2012	0,040	0,032	0,026	0,000	0,028	0,031	0,022	0,010	0,021	0,011	0,017	0,024	0,022
2011	0,012	0,021	0,013	0,020	0,014	0,020	0,019	0,000	0,024	0,014	0,015	0,021	0,016
2010	0,015	0,022	0,021	0,039	0,009	0,022	0,026	0,036	0,015	0,016	0,015	0,013	0,021
2009	0,011	0,016	0,015	0,034	0,022	0,056	0,015	0,019	0,000	0,000	0,009	0,019	0,018
2008	0,033	0,019	0,016	0,017	0,024	0,021	0,015	0,019	0,016	0,014	0,027	0,023	0,020
2007	0,021	0,032	0,017	0,033	0,030	0,030	0,012	0,000	0,007	0,019	0,003	0,023	0,019

Dengan banyaknya kejadian debit yang diperoleh, maka dapat dihitung probabilitas kejadian menggunakan rumus Weibul yang disajikan dalam Tabel 4.12 berikut ini.

Tabel 4.12. Data debit andalan hujan

No urut	Tahun	Rerata	Probabilitas
1	2016	0,027	10
2	2013	0,025	20
3	2014	0,022	30
4	2012	0,022	40
5	2010	0,021	50
6	2008	0,020	60
7	2007	0,019	70
8	2015	0,019	80
9	2009	0,018	90
10	2011	0,016	100



Gambar 4.1. Flow Duration Curve

Sehingga, peluang terjadinya debit andalan pada 80% dengan debit yang dihasilkan kurang lebih dari 0,019 m³/s pada tahun 2015.

4.2. Debit Sungai

Perhitungan debit sungai diperoleh dari luas penampang dan kecepatan aliran sungai, yang disajikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 4.13. Analisa Debit Sungai Lahundape

Lokasi	B (m)	Vrerata (m/s)	A (m²)	Q (m³/s)	Qrerata (m³/s)
Sebelum Air Terjun	1	2,6	0,066	0,602	0,040
	2	1,3	0,187	0,652	0,122
	3	2,6	0,069	0,582	0,040
	4	0,7	0,101	0,070	0,007
	5	0,8	0,220	0,084	0,018
Sesudah Air Terjun	6	18	0,060	10,42	0,627
	7	0,5	0,142	0,100	0,014
	8	2	0,117	0,350	0,041
	9	0,5	0,188	0,045	0,008
	10	0,5	0,194	0,055	0,011

4.3. Daya Yang Dihasilkan

$$P = g \times Q \times H \times \eta_T \times \eta_G$$

Dimana:

- P : Potensi daya (kW)
- Q : Debit aliran air (m³/s)
- H : Head (tinggi jatuh) (m)
- G : Percepatan gravitasi (m/s²)
- η_T : Efisiensi turbin antara
 - untuk turbin pelton antara 0,8 – 0,85
 - untuk turbin francis antara 0,8 – 0,9
 - untuk turbin crossflow antara 0,7 – 0,85
 - untuk turbin propeller antara 0,8 – 0,9
- η_G : Efisiensi generator antara 0,80 s/d 0,95

$$\begin{aligned}
 P &= g \times Q \times H \times \eta_T \times \eta_G \\
 &= 9,81 \times 0,045 \times 17 \times 85\% \times 80\% \\
 &= 5,10 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.14. Daya Yang Dihasilkan Dari Debit Pengukuran

Efisiensi Turbin (%)	Efisiensi Generator (%)	Gravitasi (m/s ²)	Debit (m ³ /s)	Head (m)	Daya Terbangkit (kW)
Cross flow	85	9,81	0,045	17	5,10
Pelton	80	9,81	0,045	17	4,80
Francis	90	9,81	0,045	17	5,40
Propeller	90	9,81	0,045	17	5,40

Tabel 4.15. Daya Yang Dihasilkan Dari Debit Andalan 80%

Bulan	Q (m ³ /dt)	H (m)	g (m/s ²)	Efisiensi Turbin (%)	Efisiensi Generator (%)	P (kW)
Jan	0,018	17	9,81	90	80	2,19
Feb	0,024	17	9,81			2,89
Mar	0,026	17	9,81			3,12
Apr	0,028	17	9,81			3,31
Mei	0,030	17	9,81			3,59
Jun	0,027	17	9,81			3,23
Jul	0,022	17	9,81			2,61
Ags	0,000	17	9,81			0,00
Sep	0,000	17	9,81			0,00
Okt	0,000	17	9,81			0,00
Nov	0,012	17	9,81			1,46
Des	0,036	17	9,81			4,28

Untuk debit terukur, jenis turbin propeller dengan daya yang dihasilkan adalah 5,40 kW, dapat mengalirkan tenaga listrik sebanyak 12 KK.

Untuk debit andalan, jenis turbin propeller dengan daya terbangkit terbesar terjadi pada bulan Desember adalah 4,28 kW. Dimana dengan besar daya tersebut, dapat mendistribusikan kerumah warga sebanyak 9 KK. Sedangkan, untuk daya terbangkit terkecil terjadi pada bulan November adalah 1,46 kW dapat mendistribusikan kerumah warga sebanyak 3 KK.

Jadi untuk daya yang dapat didistribusikan pada 9 bulan efektif yang menghasilkan daya terbangkit adalah sebanyak 3 KK – 9 KK. Untuk 3 bulan yang tidak menghasilkan daya terbangkit, dapat diperkirakan bahwa masih dapat diperoleh daya terbangkit sebesar 5,40 kW yang dapat mendistribusikan untuk 12 KK dari hasil debit terukur.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- Analisa debit (Q) yang dihasilkan dari pengukuran yaitu sebesar 0,141 m³/s untuk aliran setelah air terjun dan debit sebesar 0,050 m³/s untuk aliran sebelum air terjun. Sedangkan untuk hasil peluang rerata debit andalan ($Q_{andalan}$) 80% yaitu 0,019 m³/s pada tahun 2015.
- Untuk hasil daya yang terbangkit dengan memperhitungkan head (terjunan air) 17 m, maka akan menggunakan turbin propeller. Dimana daya yang dihasilkan turbin untuk debit pengukuran ($Q_{pengukuran}$) sebesar 5,40 kW, sedangkan untuk hasil daya pada debit andalan ($Q_{andalan}$) yaitu terkecil pada bulan November sebesar 1,46 kW dan yang terbesar pada bulan Desember sebesar 4,28 kW.
- Besar daya yang paling efektif dari hasil perhitungan, maka jenis pembangkit listrik yang akan direncanakan yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), dengan daya terbangkit dari debit pengukuran ($Q_{pengukuran}$) adalah 5,40 kW yang hanya dapat melayani 12 KK. Sedangkan untuk daya terbangkit yang paling efektif selama 9 bulan dari debit andalan ($Q_{andalan}$) adalah 1,46 kW – 4,28 kW yang dapat melayani 3 KK – 9 KK, sedangkan untuk 3 bulannya tidak dapat menghasilkan daya. Dimana ketetapan tarif tegangan untuk 1 KK adalah 450 VA. Dengan asumsi bahwa, untuk 3 bulan yang tidak menghasilkan daya terbangkitkan, dapat diperkirakan bahwa masih dapat membangkitkan daya sebesar 5,40 kW dari debit pengukuran ($Q_{pengukuran}$).

5.3 Saran

Saran dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- Untuk peneliti selanjutnya, dapat lebih menghitung secara detail tentang bangunan

sipilnya dan kelayakan ekonomi dari penelitian ini.

- Untuk kebutuhan listrik daerah Keleruhan Kemaraya dan Kelurahan Watu-Watu pada 3 bulan yang tidak menghasilkan daya terbangkit, dapat di lakukan pemadaman bergilir untuk dapat mengimbangi dengan suplai listrik dari PLN.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdusalam, Rafika., Ales Binilang., Fuad Halim. 2014. *Analisa Potensi Sungai Atep Oki Serta Desain Dasar Bangunan Sipil Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jurnal Teknik Sipil Vol. 2 No. 5. Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Akbar, Ramdani. 2010. *FJ. Mock (Menghitung Debit Andalan)*. blogramdani.blogspot.co.id. 19 February 2018.
- Anastasya, 2015. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Napitupuluanastasya.blospot.co.id. 12 Desember 2017.
- Asbar, Aidul. 2017. *Analisa Daya Poros dan Daya Hidrolik Pada Turbin Pelton Dengan Variasi Debit*. Skripsi Teknik Sipil Universitas Halu Oleo. Kendari.
- Dhani, Rama Dhani. 2017. *Metode Penman Monteith*. www.academia.edu. 20 Agustus 2017.
- Dwiyanto Very., Dyah Indriana. K., Subuh Tugiono. 2016. *Analisa Pembangkit Listrik tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus: Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai)*. Jurnal Teknik Sipil Vol. 4 No. 3. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Hasbi., Isa Muhammad Said. 2014. *Water Turbine*. Yokealjauza.wordpress.com. 12 Desember 2017.
- Herawati, Novi., Rintis Hadiyani, R. R., Suyanto. 2016. *Analisa Kolam Tando Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro umbul kendat*. Jurnal teknik Sipil. Surakarta: Universitas Sebelas Maret
- Katamwatiningsih, Sri Sukarni. 2014. *Pengaruh Ketinggian Dan Debit Air Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*. Balai Diklat Semarang.
- La Ode Abdul Muis. 2015. *Analisa Potensi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Desa Bahutara Kecamatan Kontukowuna Kabupaten Muna*. Skripsi Teknik Elektro Universitas Halu Oleo. Kendari.
- Lobies, J. 1987. *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Mulyana, Widia Prima., Sulwan Permana., Ida Farida. 2013. *Pengaruh Curah Hujan Terhadap Ketersediaan Air Pada Perencanaan Pembangunan pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Sungai Cisanggiri Kecamatan Cihurip Kabupaten Garut*. Jurnal Hidrologi Vol. 11 No. 1. Garut: Sekolah Tinggi Teknologi Garut.
- Noor, Syah Muhammad. 2013. *Makalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)*. Syahmuhammadnoor.blogspot.co.id. 12 Desember 2017.
- Ria, Mesriah. 2016. *Rumus Perhitungan Eto dan Penman Modifikasi*. www.matadunia.id. 20 Agustus 2017.
- Rompies, Willy Candra., Lingkan Kawet., Fuad Halim., Mamoto. J. D. 2013. *Analisa Potensi Sumber Daya Air Sungai Kayuwatu Wangko Untuk Perencanaan Pembangkit Listrik Di Desa Karor Kec. Lambean Timur Kab. Minahasa*. Jurnal Teknik Sipil Vol. 1 No. 10. Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Sunggono kh, v. 1995. *Buku Teknik Sipil*. Bandung: Nova.
- Sostrodarsono, Suyono., Takeda Kensaku. 1976. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Tritmodjo, Bambang. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Tyas, Eva Cahyaning., Suwanto Marsudi., Ussy Andawaryanti. 2014. *Studi Perencanaa Pembangkit Listrik Tenaga Air Di Bendungan Pandanduri Swangi Lombok Timur Nusa Tenggara Barat*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Yadav, Amarjeet., Shriram, Dr. 2014. *Prospect of Micro Hydro Power in Hilly Area*. International Journal For Scientific Research & Development Vol. 2 Issue 10. India: Masan Mohan Malaviya University of technology.