

OPTIMALISASI PEMBANGKIT LISTRIK MIKROHIDRO (PLTMH) BOROKO

HANS TUMALIANG

ABSTRAK

Optimalisasi PLTMH, Analisa dilakukan dengan menggunakan metode Hidrologi JMOCK dan NRECA, untuk menentukan debit rencana /debit Andalan dan juga debit banjir yang berpengaruh terhadap rencana pengembangan PLTMH, debit Rencana/ Andalan adalah debit yang dapat digunakan sebagai kapasitas debit yang optimal untuk PLTMH yang secara kontinuitas dapat diharapkan tidak berubah, dari analisa yang dilakukan debit rencana / andalan yaitu: 4m³/det dengan Head Optimal yang ditentukan dari pengukuran Elevasi yaitu pada Head = 50 meter. Sehingga dari kondisi ini dapat dihitung kapasitas minimal PLTMH adalah 880 kW dan Optimal Pada 2 x 800 kW.

A. PENDAHULUAN

Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: Geologi, hidrologi, pada penelitian ini yang diperhitungkan dan yang dianalisa mengenai faktor hidrologi dimana kapasitas debit air pada kondisi musim panas, hujan untuk kurun waktu 10 tahun kebelakang dan kapasitas debit awal dengan pengukuran sesaat, debit rencana, debit banjir dan debit andalan yang dihitung dari hasil pengukuran dan data dari BMG setempat dengan Metode FJ Mock dan NRECA, agar ditemukan hasil Debit air dan Head Optimum yang dapat dijadikan Pembangkit Listrik Mikro Hidro. Pengambilan sampel data didaerah Kabupaten Bolaang Mongondow Utara daerah perbatasan antara Propinsi Gorontalo dengan Propinsi Sulawesi utara ada beberapa sungai dan diantaranya terdapat air terjun yang cukup besar yang sangat potensi dijadikan Pembangkit Listrik. Untuk maksud tersebut, maka diperlukan Penelitian, survey dan pemetaan untuk mengetahui potensi sungai tersebut untuk digunakan pada Pembangkit listrik tenaga mikro hidro.

B. MANFAAT PENELITIAN

1. Memenuhi kebutuhan masyarakat pedesaan yang jauh dari jaringan Listrik PLN
2. Memberikan solusi kepada Pemerintah daerah dalam penanganan krisis energi listrik.
3. Meningkatkan Ratio Kelistrikan di daerah Sulawesi Utara

1. Metode Water Balance DR. F. J. Mock

Metode ini digunakan untuk menaksir ketersediaan air di suatu sungai dengan menggunakan data curah hujan, evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi di daerah pengaliran sungai.

Langkah perhitungan metode Mock dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Penentuan Hujan Rata-rata Bulanan dan Jumlah Hari Hujan

Hujan rata-rata bulanan diambil dari stasiun yang berpengaruh pada DAS yang ditinjau.

Hujan yang menjadi dasar dalam penentuan bulan kering, bulan lembab dan bulan basah. Bulan kering apabila hari hujan dalam bulan tersebut <5-8 hari. Bulan basah ditentukan bila hari hujan dalam bulan tersebut berlangsung lebih dari 8 hari.

2. Evaporasi Terbatas

Evaporasi terbatas adalah evaporasi actual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah serta frekuensi curah hujan. Data-data yang diperlukan untuk mencari besar evapotranspirasi adalah :

- Data temperature udara
- Data penyinaran matahari
- Data kelembaban udara
- Data kecepatan angin

Dari data perhitungan evapotranspirasi tersebut selanjutnya untuk perhitungan DR. F. J. Mock :

$$E_T = E_p - E \quad (2.1)$$

Dimana :

E_T = Evapotranspirasi

E_p = Evapotranspirasi potensial

E = Perbedaan antara evapotranspirasi

3. Evapotranspirasi Potensial

Evapotranspirasi potensial adalah evapotranspirasi yang terjadi dalam keadaan air selalu tersedia cukup baik secara alami (hujan) maupun secara buatan (irigasi). Perbedaan antara evapotranspirasi potensial dengan evapotranspirasi actual dicari dengan menggunakan rumus;

$$E = E_p \cdot \frac{d}{30} \cdot m \quad (2.2)$$

Dimana:

E = Perbedaan antara evapotranspirasi potensial dengan evapotranspirasi terbatas (mm)

E_p = Evapotranspirasi potensial (mm)

d = Jumlah hari kering tanpa hujan dalam suatu bulan

m = Singkapan lahan (%)

Singkapan lahan (m) diperhitungkan dapat ditaksir seperti tabel dibawah ini.

Tabel 2.1. Singkapan Jenis Lahan

No	Jenis Penggunaan	Singkapan Lahan (%)
1	Hutan Tebal	0
2	Lahan Erosi	10-40
3	Lahan Pertanian	30-40

sumber : Mock, F. J. DR, 1973

Semakin kering suatu daerah, harga m semakin tinggi. Namun perlu diingat walau sekering apapun masih ada sisa-sisa semak yang dapat menutupi permukaan tanah, maka factor m tidak akan mencapai 100%. Pada bulan basah berarti daun-daun mulai tumbuh, maka nilai m akan menurun antara 10-20%, bila bulan berikutnya termasuk kategori bulan lembab, maka nilai tetap, yaitu sama dengan nilai m pada bulan sebelumnya. Sedangkan bila bulan berikutnya termasuk bulan kering, maka nilai m akan bertambah sebesar 10-20%.

$$d = \frac{3}{2} (18 - n) \quad (2.3)$$

Substitusi persamaan (2.3) ke persamaan (2.2), menjadi:

$$\frac{E}{E_p} = \left(\frac{m}{20}\right) (18 - n) \quad (2.4)$$

Dimana:

n = Jumlah hari hujan

4. Exces Rainfall (ER)

Pada saat terjadi hujan, sebagian air tidak mencapai permukaan tanah karena adanya evapotranspirasi. Hujan yang langsung sampai di permukaan tanah diistilahkan sebagai *excess rainfall*. Nilai curah hujan yang mencapai tanah ini dapat di rumuskan sebagai berikut:

$$ER = P - E_t \quad (2.5)$$

Dimana:

ER = Air hujan yang mencapai permukaan tanah (mm)

P = Tinggi hujan yang terjadi (mm/bulan)

E_t = Evapotranspirasi actual (mm/bulan)

Bernilai positif bila $P > E_t$ dan air masuk ke dalam tanah

Bernilai negative bila $P < E_t$ dan sebagian air tanah akan keluar sehingga terjadi deficit.

5. Kapasitas Kelembaban Tanah

Pada saat memulai perhitungan, ditentukan dahulu nilai *Soil Moisture Capacity* (SMC) dan *Initial Soil Moisture* (ISM). Dalam hal ini berlaku ketentuan :

- Bila $P - E_t$ berharga positif, maka nilai $SM = SMC$
- Bila $P - E_t$ berharga negative, maka nilai $SM = (P - E_t) + ISM$

Nilai SM yang diperoleh, digunakan sebagai nilai ISM pada bulan berikutnya, dan nilai SM pada bulan Desember harus sama dengan nilai ISM pada bulan Januari. Dari nilai-nilai tersebut diperoleh perubahan nilai kelembaban tanah (S_s) :

$$S_s = SM - ISM \quad (2.6)$$

6. Water Surplus

Water surplus merupakan sisa air hujan yang ada setelah digunakan untuk memenuhi nilai kelembaban tanah.

$$W_s = ER - S_s \quad (2.7)$$

Dimana:

W_s = *Water Surplus* (mm)

ER = *Excess Rainfall*

S_s = perubahan nilai kelembaban tanah (mm)

7. Infiltrasi

Infiltrasi adalah masuknya air ke dalam tanah melalui permukaan tanah. Sehingga bila terjadi hujan pada suatu daerah tangkapan air, sehingga hujan tersebut akan masuk ke dalam tanah.

$$I = C_s \cdot W_s \quad (2.8)$$

Dimana:

I = Infiltrasi

C_s = Koefisien Infiltrasi (antara 0-1)

W_s = *Water Surplus* (mm)

Sedangkan rumus kandungan air tanah yang dipakai adalah sebagai berikut :

$$V_n = K(V_{n-1}) + 0,5 \cdot (1 + K) \cdot I \quad (2.9)$$

Dimana :

V_n = Volume air tanah bulan ke-n (mm)

K = Faktor resesi air tanah

$\Delta V_n =$ Perubahan volume air tanah = $V_n - V_{n-1}$
 V_{n-1} = Volume air tanah bulan ke n-1
 Nilai V_{n-1} dicoba-coba sehingga nilai V_{n-1} pada bulan Januari sama dengan nilai V_n pada bulan Desember.

8. Debit Limpasan Sungai

a. Aliran Dasar

$$BF = I - \Delta V_n \quad (2.10)$$

Dimana:

BF = Aliran dasar (*base flow*)

I = Infiltrasi

ΔV_n = Perubahan volume air tanah

b. Aliran Permukaan (*direct run off*)

Direct run off adalah limpasan permukaan yang langsung mengisi sungai, dimana besarnya merupakan selisih antara kelebihan air dan infiltrasi.

$$DRO = W_s - I \quad (2.11)$$

Dimana:

DRO = Aliran permukaan (*direct run off*)

W_s = Surplus air

I = Infiltrasi

c. Total Limpasan (TRO)

$$TRO = BF + DRO \quad (2.12)$$

Dimana:

TRO = Debit limpasan sungai

BF = Aliran dasar

DRO = Aliran permukaan

d. Debit (QRO)

Besarnya debit sungai tergantung pada besarnya debit limpasan sungai (TRO) dan luas DAS.

$$QRO = \left(\frac{A \times TRO}{t} \right) \quad (2.13)$$

Dimana:

QRO = Debit *run off* (m³/det)

A = Luas *catchment area* (m²)

t = Waktu (det)

Langkah-langkah perhitungan debit dengan menggunakan metode MOCK dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Memasukkan data curah hujan (P) yang telah didapatkan dari perhitungan sebelumnya
2. Data jumlah hari hujan (n)
3. Evapotranspirasi (Ep) yang nilainya telah diperoleh berdasarkan Metode Penman
4. Singkapan lahan (m). Nilai singkapan lahan dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai singkapan lahan dalam hal ini merupakan prosentase lahan yang tertutup vegetasi, dimana pada bulan kering (jumlah hari hujan <5 hari) harga m akan semakin

tinggi. Sedangkan pada bulan basah (jumlah hari hujan >8 hari) nilai m akan rendah. Pada bulan lembab (5-8 hari) nilai m tetap.

5. Menghitung nilai perbandingan evapotranspirasi dan evapotranspirasi terbatas : $E/E_p = (m/20)(18-n)$
6. Menghitung nilai perbedaan evapotranspirasi dan evapotranspirasi terbatas : $E = E_p \left(\frac{E}{E_p} \right)$
7. Menghitung nilai evapotranspirasi terbatas: $E_t = (E_p - E)$
8. Menghitung nilai *Excess Rainfall*: $ER = P - E_t$
9. Menghitung nilai kelembaban tanah (SM) dan (ISM). Bila $P - E_t$ berharga positif maka nilai $SM = SMC$.
10. Menghitung nilai kelembaban tanah (SM) dan (ISM). Bila $P - E_t$ bernilai negative maka nilai $SM = (P - E_t) + ISM$
11. Menghitung perubahan nilai kelembaban tanah: $S_s = SM - ISM$
12. Menghitung nilai koefisien infiltrasi (C_s) nilainya antara 0-1
13. Menghitung *Water Surplus*: $W_s = ER - S_s$
14. Menghitung nilai Infiltrasi: $I = C_s \cdot W_s$
15. Penentuan nilai factor resensi air tanah (K) dengan mengambil nilai antara 0-1
16. Menghitung nilai volume air tanah pada waktu sebelumnya (V_{n-1}), dicoba-coba sampai nilai V_{n-1} pada bulan Januari sama dengan nilai volume air tanah (V_n) pada bulan Desember.
17. Menghitung nilai volume air tanah: $V_n = (0,5(1 + K)I) + (K \cdot V_{n-1})$
18. Menghitung nilai perbedaan antara volume air tanah dan volume air tanah sebelumnya ($\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$)
19. Menghitung nilai *base flow*: $BF = I - \Delta V_n$
20. Menghitung limpasan langsung: $TRO = DRO + BF$
21. Menghitung besarnya debit sungai: $QRO = (A \times TRO)/t$.

A. Metode NRECA

Model Nreca dikembangkan oleh NORMAN CRAN FORD (USA, 1985) untuk data debit bulanan yang merupakan model hujan-limpasan yang relative sederhana, dimana jumlah parameter model hanya 3 atau 4 parameter. Cara perhitungan dengan metode NRECA ini, juga sesuai untuk daerah cekungan yang setelah hujan

berhenti, masih ada aliran di sungai selama beberapa hari.

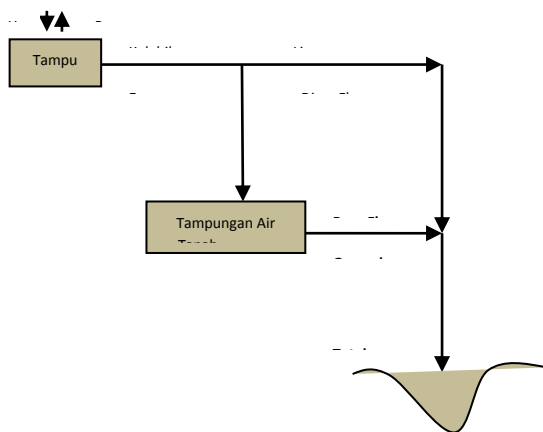
Persamaan dasar yang digunakan adalah persamaan keseimbangan air sebagai berikut:

$$\text{Hujan} - \text{Evapotranspirasi} + \text{Perubahan Tampungan} = \text{Limpasan}$$

Model Nreca strukturnya dibagi menjadi dua tampungan, yaitu tampungan kelengasan (*moisture storage*) dan tampungan air tanah (*groundwater storage*). Kandungan kelengasan ditentukan oleh jumlah kelebihan kelengasan (*excess moisture*). Parameter model NRECA adalah sebagai berikut :

- a. Kapasitas tampungan kelengasan (NOM)
Perkiraan awal :
 $NOM = 100 + C \times \text{hujan rata-rata tahunan}$
Dimana:
C = 0,2 untuk DAS yang hujan terus menerus terjadi sepanjang tahun
C < 0,2 untuk DAS yang memiliki hujan musiman
- b. Rasio imbuhan/infiltrasi (PSUB) yang berkisar antara 0,3 – 0,9
- c. Bagian kandungan air tanah yang menuju sungai yang berkisar 0,2 – 0,8
- d. Nilai awal dari kandungan kelengasan tanah (SMSTORE)
- e. Nilai awal dari kandungan air tanah (GWSTORE)

Untuk lebih jelasnya mengenai struktur model NRECA dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar,2.7. Skema Model NRECA

Data-data masukan yang dibutuhkan dari model NRECA adalah sbb:

1. Data hujan rata-rata bulanan
Curah hujan rata-rata bulanan dihitung melalui data dari stasiun curah hujan yang terdekat. Stasiun curah hujan dipilih dengan syarat-syarat sebagai berikut:

- a. Pilih salah satu stasiun curah hujan yang jaraknya terdekat dengan sungai yang ditinjau, kurang dari 10 km.
 - b. Jika tidak ada stasiun curah hujan dengan jarak kurang dari 10 km, cari stasiun curah hujan lain dengan jarak antara 11 km sampai 20 km tetapi jumlahnya harus minimal 2 stasiun curah hujan.
 - c. Bila kedua stasiun curah hujan dengan jarak 11-20 km tidak ditemukan, maka digunakan 3 stasiun curah hujan atau lebih di sekeliling lokasi jarak kurang dari 50 km.
 - d. Untuk daerah yang tersedia peta isohyet tahunan, dapat digunakan bila alternative butir (c) tidak dapat dilaksanakan.
2. Evapotranspirasi
Evapotranspirasi adalah penguapan yang terjadi dari permukaan yang bersamaan. Evapotranspirasi potensial adalah evapotranspirasi yang terjadi dalam keadaan air selalau tersedia cukup baik secara alami (hujan) maupun secara buatan (irigasi). Untuk Evapotranspirasi aktual, tergantung dari perbandingan antara hujan rata-rata bulanan dengan evapotranspirasi potensial. Koefisien reduksi terhadap penguapan peluh dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2.2. Koefisien Reduksi Terhadap Penguapan Peluh

No	Kemiringan m/km	Koefisien Reduksi
1	0 – 50	0,9
2	51 – 100	0,9
3	101 – 200	0,6
4	>200	0,4

Sumber: Kasiro, I, 1994

3. Kondisi awal : tampungan kelengasan (SMSTORE) dan tampungan air tanah
4. Parameter model, nominal, kelebihan kelengasan dan GWF

Langkah-langkah perhitungan metode NRECA dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Penentuan hujan rata-rata bulanan dan tahunan
Hujan rata-rata bulanan dan tahunan diperoleh dari stasiun yang berpengaruh pada DAS yang ditinjau. Hujan juga menjadi dasar untuk memperoleh nilai rasio tampungan.
2. Evapotranspirasi potensial (PET)

Evapotranspirasi potensial adalah evapotranspirasi yang terjadi dalam keadaan air selalu tersedia cukup baik secara alami (hujan) maupun secara buatan (irigasi). Data-data yang diperlukan untuk mencari nilai evapotranspirasi adalah :

- Data temperatur udara
- Data penyinaran matahari
- Data kelembaban udara
- Data kecepatan angin

3. Tampungannya kelengasan awal (W_0)

Nilai tampungannya kelengasan awal ini dicoba-coba, dan untuk percobaan pertama diambil nilai 600 mm/bulan.

4. Rasio tampungannya tanah (*soil storage ratio* - W_i)

Rasio tampungannya tanah dihitung dengan menggunakan rumus :

$$W_i = \frac{W_0}{NOMINAL} \quad (2.14)$$

$$NOMINAL = 100 + 0,2 Ra$$

Dimana:

Ra = hujan rata-rata tahunan (mm)

5. Rasio $\frac{Rb}{PET}$

Rasio Rb/PET adalah angka perbandingan antara curah hujan dan evapotranspirasi potensial.

6. Rasio $\frac{AET}{PET}$

Rasio AET/PET dihitung dengan menggunakan rumus :

$$AET = Kl \times PET \quad (2.15)$$

Dimana:

Kl = koefisien evapotranspirasi yang bergantung pada R dan W_i

$Kl = Rb/PET (1-0,5xW_i)+0,5xW_i$; bila $R < 1$ dan $W_i < 2$

$Kl = 1$; bila $R > 1$ atau $W_i > 2$

7. Evapotranspirasi actual (AET)

$$AET = (AET/PET) \times PET \times \text{koefisien reduksi} \quad (2.16)$$

Nilai koefisien reduksi dapat dilihat pada tabel 2.2.

8. Neraca air

Neraca air adalah selisih antara curah hujan rata-rata bulanan dan evapotranspirasi actual.

$$\text{Neraca air} = Rb - AET \quad (2.17)$$

9. Rasio kelebihan kelengasan (extra) bergantung dari angka kandungan (storage ratio) yang didapat dari gambar atau dapat diperkirakan dengan persamaan regresi sebagai berikut :

- Untuk $W_i \leq 0$, maka $exrat = 0$
- Untuk $W_i > 0$, maka $exrat = 0,5 \times [1 + \tanh(-X)]$

Dimana :

$$X = (W_i - 1)/0,52$$

$$\text{Tanh} = \frac{[\exp(X) - \exp(-X)]}{[\exp(X) + \exp(-X)]}$$

i. Bila neraca air positif maka rasio tersebut diperoleh dengan memasukan nilai tampungannya kelengasan tanah (W_i) atau dengan persamaan regresi.

ii. Bila neraca air negatif, rasio = 0

10. Kelebihan kelengasan (excm)

$$\text{Excm} = \text{rasio kelebihan kelengasan} \times \text{neraca air} \quad (2.18)$$

11. Perubahan tampungannya (S)

$$S = \text{neraca air} - \text{kelebihan kelengasan} \quad (2.19)$$

12. Tampungannya air tanah

$$\text{Tampungannya air tanah} = P1 \times \text{kelebihan kelengasan} \quad (2.20)$$

Dimana:

$P1$ = parameter yang menggambarkan karakteristik tanah permukaan (keadaan 0-2 m), nilainya 0,1 - 0,5 tergantung pada sifat menyerap air lahan.

$P1 = 0,1$ bila bersifat kedap air

$P2 = 0,5$ bila bersifat menyerap air

13. Kandungannya air tanah awal (GWSTORE)

14. Tampungannya air tanah akhir

Tampungannya air tanah akhir = tampungannya air tanah + tampungannya air tanah awal

15. Alirannya air tanah

$$\text{Alirannya air tanah} = P2 \times \text{tampungannya air tanah akhir} \quad (2.22)$$

Dimana:

$P2$ = parameter seperti $P1$ tetapi untuk lapisan tanah dalam (kedalaman 2-10m)

$P2 = 0,9$ bila bersifat kedap air

$P2 = 0,5$ bila bersifat menyerap air

16. Larian langsung (direct run off)

$$\text{Larian langsung} = \text{kelebihan kelengasan} + \text{alirannya air tanah} \quad (2.23)$$

17. Alirannya total

$$\text{Alirannya total} = \text{alirannya langsung} + \text{alirannya air tanah} \quad (2.24)$$

18. QRO

$$QRO = (A \times \text{Alirannya Total})/t \quad (2.25)$$

Langkah-langkah perhitungan debit dengan menggunakan metode NRECA dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Memasukan data curah hujan rata-rata bulan (Rb) yang telah diperoleh dari perhitungan sebelumnya.
2. Evapotranspirasi (Ep) yang nilainya telah diperoleh dari hasil perhitungan dengan metode Penman.

3. Nilai tampungan kelengasan awal ini dicoba-coba, dan untuk percobaan pertama diambil nilai 600 mm/bulan.
4. Rasio tampungan tanah dihitung dengan menggunakan persamaan 2.14.
5. Rasio Rb/PET adalah angka perbandingan antara curah hujan dan evapotranspirasi potensial.
6. Rasio AET/PET dihitung dengan menggunakan persamaan 2.15
7. Evapotranspirasi actual (AET) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.16.
8. Neraca air yaitu selisih antara curah hujan rata-rata bulanan dan evapotranspirasi actual (persamaan 2.17.)
9. Rasio kelebihan kelengasan (*exrat*) bergantung dari angka kandungan (*storage ratio*) yang didapat dari gambar atau dapat diperkirakan dengan persamaan regresi sebagai berikut :
 - Untuk $W_i \leq 0$, maka $exrat = 0$
 - Untuk $W_i > 0$, maka $exrat = 0,5 \times [1 + \tanh(-X)]$

Dimana:

$$X = (W_i - 1) / 0,52$$

$$\text{Tanh} = \frac{[\exp(X) - \exp(-X)]}{[\exp(X) + \exp(-X)]}$$

10. Kelebihan kelengasan (*excm*) pada persamaan 2.18.
11. Perubahan tampungan (S) pada persamaan 2.19.
12. Tampungan air tanah pada persamaan 2.20.
13. Tampungan air tanah awal (GWSTORE)
14. Tampungan air tanah akhir = tampungan air tanah + tampungan air tanah awal
15. Aliran air tanah = $P_2 \times$ tampungan air tanah akhir
16. Larian langsung = kelebihan kelengasan – tampungan air tanah
17. Aliran total = larian langsung + aliran air tanah
18. QRO = (Ax Aliran Total)/t

B. EFISIENSI TENAGA LISTRIK

Persamaan konversi tenaga listrik adalah :

Daya yang masuk = Daya yang keluar + kehilangan (loss) atau

Daya yang keluar = Daya yang masuk x efisiensi energi

Daya yang masuk atau total daya yang diserap oleh skema hidro adalah daya kotor P_{gross}, yang masih merupakan Rencana:

$$P_{th} = 9,8 Q H \text{ (kW)}$$

Daya yang manfaatnya dikirim adalah daya bersih, P_{net} (Pout).

$$P_{net} = P_{gross} - E_o \quad (\text{kW}) \quad (2.26)$$

$$P_{net} = g \times H_{gross} \times Q \times E_o \quad (\text{kW}) \quad (2.27)$$

Dimana :

g = gravitasi bumi = 9,8 m/det

H_{gross} = head kotor (m)

Q = debit air (m³/det)

E_o = efisiensi = Ekonstruksi sipil x E_{pentock} x E_{turbin} x E_{generator} x E_{sistem control} x E_{jaringan} x E_{trafo} Ekonstruksi sipil = 1,0 - (panjang saluran x 0,002 ~ 0,005)/H_{gross}

E_{pentock} = 0,90 ~ 0,95 (tergantung pada panjangnya)

E_{turbin} = 0,70 ~ 0,85 (tergantung dari turbin)

E_{generator} = 0,80 ~ 0,95 (tergantung pada kapasitas

E_{sistem control} = 0,97

E_{jaringan} = 0,90 ~ 0,98 (tergantung pada panjang)

E_{trafo} = 0,98

C. ANALISIS FINANSIAL PLTMH

Penelitian PLTMH Boroko yang juga merupakan suatu kegiatan pengembangan memerlukan pula ukuran apakah pengembangan tersebut dapat memberikan keuntungan atau kerugian. Untuk maksud tersebut, maka dalam penulisan ini analisis secara finansial dengan menggunakan kriteria investasi sebagai berikut :

a. Net Present Value (NPV)

Net Present Value merupakan selisih antara present value arus benefit dengan present value arus biaya yang dihitung pada tingkat bunga tertentu. NPV ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \dots\dots\dots 2.28$$

dimana :

B_t = Benevit pengembangan pada tahun t

C_t = Biaya pengembangan pada tahun t

n = Umur ekonomis pengembangan

i = Discount rate

b. Net Benefit - Cost Ratio (Net B/C)

Net B/C adalah perbandingan antara jumlah present value dari net benefit yang positif dengan jumlah present value dari net benefit yang

negatif. Net B/C ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$NetB/C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{Bt - Ct}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Ct - Bt}{(1+i)^t}} \dots\dots\dots 2.29$$

Untuk Bt - Ct > 0
Untuk Bt - Ct < 0

Dimana :

- B_t = Benefit pengembangan pada tahun t
- C_t = Biaya pengembangan pada tahun t
- n = Umur ekonomis pengembangan
- i = Discount rate

c. Gros Benefit Cost Ratio (Gros B/C)

Gros B/C adalah perbandingan antara jumlah present value arus benefit dengan jumlah present value arus biaya. Gros B/C ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$GrosB/C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{Bt}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Ct}{(1+i)^t}} \dots\dots\dots 2.30$$

Dimana :

- B_t = Benefit pengembangan pada tahun t
- C_t = Biaya pengembangan pada tahun t
- n = Umur ekonomis pengembangan
- i = Discount rate

d. Profitability Ratio (PV'/K)

Profitability Ratio adalah perbandingan antara jumlah present value benefit dikurangi biaya rutin dengan biaya investasi. Profitability ratio dapat dirumuskan sebagai berikut ;

$$NetB/C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{Bt - Exp}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Kt}{(1+i)^t}} \dots\dots\dots 2.31$$

Dimana :

- B_t = Benefit pengembangan pada tahun t
- Exp_t = Biaya operasi dan pemeliharaan pada tahun t
- K_t = Biaya investasi pada tahun t
- n = Umur ekonomis pengembangan
- i = Discount rate

e. Internal Rate Of Return (IRR)

Internal Rate Of Return adalah discount rate yang dapat membuat besarnya the net present

value (NPV) proyek sama dengan nol, atau yang membuat B/C ratio = 1. IRR ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \times (i_2 - i_1) \dots\dots\dots 2.32.$$

Dimana :

- I₁ = Discount rate yang dianggap dekat dengan nilai IRR yang benar yang menghasilkan NPV bernilai positif.
 - I₂ = Discount rate yang dianggap dekat dengan nilai IRR yang benar yang menghasilkan NPV bernilai negatif.
 - NPV₁ = NPV pada discount rate i₂ yang menghasilkan NPV positif
 - NPV₂ = NPV pada discount rate i₂ yang menghasilkan NPV negatif.
- Perhitungan Present Value dan B/C ratio PLTMH Boroko dapat dilihat pada Analisa.

A. RANCANGAN PENELITIAN

Untuk mencapai maksud penelitian tersebut dibutuhkan kerangka kerja yang dituangkan pada Bagan Alir Pelaksanaan Pekerjaan Penelitian seperti dibawah ini. Bagan alir ini memuat lingkup pekerjaan dan tahapan pelaksanaan.



Gambar 3.1. Bagan alir

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Evapotransportasi
Penafsiran besarnya evapotrasportasi dihitung

dengan metode Penman. Metode ini berdasarkan kombinasi aerodinamik dan persamaan yang digunakan adalah ;

$$Et = \frac{\frac{\Delta}{60} \times H + 0.485 Ea}{\Delta + 0.485}$$

Dimana :

Et = Evapotransportasi

Δ = Kemiringan kurva tekan uap pada T°C

H = Radiasi netto (kalori/cm²/hari)

= Ra (0.18 + 0.55 n/m) (1-r) - $\sigma \cdot Ta^4$ (0.56 - 0.092 ed) (0.1 + 0.9 n/N)

Ra = Radiasi ekstra terrestrial tergabung lintang

n = Lama penyinaran matahari

N = Koefisien refleksi = 0.2 untuk tanaman hijau

$\sigma \cdot Ta^4$ = Radiasi benda hitam (Stefan - Boltzman)

ed = Tekanan uap jenuh pada titik embun (mm Hg)

Ea = 0.35 (ea - ed) (1 + W/161)

ea = Tekanan uap (mm Hg)

W = kecepatan angin 2 meter di atas permukaan tanah

(km/hari)

Untuk tekanan uap dapat didekati dengan persamaan :

Untuk : 20° < T < 32°C

$$ea = 5.23 \exp \frac{T}{16.664} = \frac{T}{16.664} - 0.55$$

ed = ea . h

T = Temperatur (°C)

h = kelembaban relative (%)

I. Perhitungan Debit Aliran Meteorological Water Balance (Dr. JF. Mock)

Data Masukan :

1. Data curah hujan rata-rata bulanan
2. Evapotransportasi potensial Ep (dihitung dengan Penman)
3. Harga factor resesi K, diambil =60%
4. Harga Infiltration Rate Id=40% dari curah hujan
5. Soil moisture maksimum diambil = 200 mm

Hasil perhitungan adalah sebagai berikut :

0 - 25% = 20.20 m³/det (diharapkan dapat terpenuhi sepanjang 3 bulan)

0 - 50% = 13.00 m³/det (diharapkan dapat terpenuhi sepanjang 6 bulan)

0 - 75% = 8.20 m³/det (diharapkan dapat terpenuhi sepanjang 9 bulan)

0 - 100% = 4.10 m³/det (diharapkan dapat terpenuhi sepanjang tahun)

II. Metode NRECA diatas dapat di hitung:

1. Untuk bulan januari pada tahun ke 1 s/d ke13 dari data curah hujan rata2 dik:

$$Rb = 573,1 \text{ mm}$$

1. $PET = 97,7631 \text{ mm}$, dari data perhitungan Penman sesuai wilayah katulistiwa.

2. $Wo = 600 \text{ mm /bulan}$ Tampungangan kelengasan awal diambil untuk percobaan pertama.

3. $Wi = \frac{Wo}{Nominal}$

$$Nominal = 100 + 0,2Ra$$

Ra = Jumlah total hujan tahunan.

$$Wi = \frac{600}{100 + 0,2(3786255)} = 0,6998$$

4. $R = Rb / PET = \frac{573,1}{97,7631} = 5,8621$

5. Ratio AET / PET , AET dihitung dengan menggunakan rumus 2.15

$$AET = Kl \times PET$$

$$Kl = \frac{Rb}{PET} (1 - 0,5xWi) + 0,5xwi \text{ karena } R > 1 \text{ maka } Kl = 1$$

Maka $AET = 1xPET$, jadi $AET = PET$

$$\text{Rasio } AET / PET = 1$$

6. $AET = (AET / PET) \times PET \times \text{koefisien reduksi}$

Nilai koefisien reduksi dapat dilihat pada tabel 2.2.

$$AET = 97,7631 \times 0,9 = 87,9868 \text{ mm}$$

7. Neraca Air, = $Rb - AET = 573,1 - 87,9868 = 485,1132 \text{ mm}$

8. Ratio Kelebihan kelengasan (extrat).

$$\text{extrat} = 0,5x[1 + \tanh(-X)]$$

Dimana: $X = (W_i - 1)/0,52$

$$X = \frac{(0,6998-1)}{0,52} = -0,5773$$

$$\tanh = \frac{[\exp(X) - \exp(-X)]}{[\exp(X) + \exp(-X)]}$$

$$\begin{aligned} \text{extrat} &= 0,5x[1 - 0,5207] \\ &= 0,0894 \text{ mm} \end{aligned}$$

9. Kelebihan kelengasan (excm)

$$\begin{aligned} \text{excm} &= \text{ratio kelengasan} \times \text{neraca air} \\ &= 0,0894 \times 485,1132 = 43,3759 \text{ mm} \end{aligned}$$

10. Perubahan tampungan (S)

$$\begin{aligned} S &= \text{neraca air} - \text{kelebihan kelengasan} \\ &= 485,1132 - 43,3759 = 441,7373 \text{ mm} \end{aligned}$$

11. Tampungan air tanah.

$$\begin{aligned} \text{Tampungan air tanah} &= P1 \times \text{kelebihan kelengasan} \\ &= 0,5 \times 43,3759 = 21,6880 \text{ mm} \end{aligned}$$

12. Tampungan air tanah awal, dari data awal:

JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGT	SEP	OKT	NOP	DES
195	190	200	120	200	190	180	170	85	90	95	85

13. Tampungan air tanah akhir = Tampungan air tanah + tampungan air tanah awal.

$$\begin{aligned} \text{Bulan Januari} &= 21,6880 + 195 = 216,6880 \text{ mm} \end{aligned}$$

14. Aliran air tanah = P2 x tampungan air tanah akhir.

$$= 0,5 \times 216,6880 = 108,3440 \text{ mm}$$

15. DRO=kelebihan kelengasan-tampungan air tanah
 $= 43,3759 - 21,6880 = 21,6880 \text{ mm}$

16. Aliran total = DRO + Aliran air tanah.
 $= 21,6880 + 108,3440 = 130,0319 \text{ mm}$

17. A = Luas Area 10.000 Ha.

$$\begin{aligned} 18. QRO &= \frac{A \times \text{Aliran Total}}{t} = \\ &= \frac{10.000 \text{ m}^2 \times 0,1300319 \text{ m}}{360} = \\ &= 5,0167 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk perhitungan bulan Februari sampai dengan Desember dapat dilihat pada Tabel lampiran.

J. Hasil Pengukuran Debit Sesaat

Pengukuran debit sesaat dilakukan dengan alat ukur current meter didekat bangunan intake Pembangkit Listrik Mikro Hidro. Current meter yang digunakan adalah : Tipe Mebflugel-Current Meter – Moulinet C2” 10 -150”, No 54439 Nomor baling-baling 1-57815

Untuk pengukuran kecepatan digunakan rumus sebagai berikut :

$$V = 0,0525 * n + 0,05 \text{ m/det, untuk } n > 6,67$$

Pengukuran dilakukan pada ketinggian muka air 0,2 H, 0,6 H dan 0,8 H pada tiga pias yaitu H_{ki} , H_T , H_{ka} , dimana H adalah tinggi air disetiap titik pengukuran.

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Debit Sesaat

PIAS	Kedalaman (m)	Titik setiap Kedalaman	Jlh Putaran (N)		KEC (V) $v = 0,0525N + 0,050$ (m/det)	KEC RATA-RATA (m/det)	LUAS M ²	DEBIT M ³ /det
			Hz PER 30 DETIK	Hz PER DETIK				
Hh	0,75	0,2H	975	32,500	1,756	1,304	5,375	7,010
		0,6H	725	24,167	1,319			
		0,8H	450	15,000	0,838			
Hka	0,85	0,2H	675	22,500	1,231	0,896	2,875	2,577
		0,6H	401	13,367	0,732			
		0,8H	375	12,500	0,706			
Hki	0,60	0,2H	1200	40,000	2,150	1,538	2,500	3,844
		0,6H	800	26,667	1,430			
		0,8H	550	18,333	1,013			
						1,2400	10,750	4,477

1. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dan analisis pada bab-bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Berdasarkan hasil penelitian Pengembangan Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH Boroko), Sungai Bumiong Kabupaten Bolaang Mongondow Utara adalah layak untuk dilakukan pengembangan karena dari perhitungan dan analisa kapasitas debit rencana/ andalan dapat di Optimalkan dengan rata-rata yaitu pada debit air minimum 4 m³/det serta tinggi terjun air 50 meter dan daya output yang dibangkitkan oleh generator minimum 800 kW dan Optimal pada debit 4,477 m³-5 m³ sebesar 2 x 800 kW.

Debit rata-rata = 4.477 m³ - 5 m³ / det dapat menghasilkan daya Listrik sebesar = 1.5 MW - 1.68 MW, Daya ini dapat melayani Desa Paku, Desa Olot, desa - desa yang ada dekat PLTMH dan Sebagian Ibukota Kabupaten Boroko, dengan jumlah pelanggan sebanyak 29258 jiwa = ± 4876 kk. Total penduduk Kabupaten Bolaang Mongondow Utara adalah = 80.136 jiwa, ratio kelistrikan : Rt = 80.136 / 6 = 13.356. Rt normal Standart PLN = 450 VA/ kk = 75 watt/jam/jiwa. Total daya Listrik yang dibutuhkan untuk Kab. Bolmong Utara adalah = 13.356 kk x 450 VA = ± 6 MW. PLTMH hanya dapat mensuplai sesuai kapasitas 2 x 800 kW = 1.6 MW, yaitu 26.67 %.

PLTMH dapat Mensuplai Minimal 2 kecamatan yang ada dekat dengan lokasi PLTMH yaitu Kec. Bolangitan dan Kec. Kaidipang. Untuk dua kecamatan ini kapasitas daya listrik yang dibutuhkan sesuai jumlah penduduk = 2.2. MW, sedangkan kota boroko sendiri yang termasuk penduduk terpadat memiliki kebutuhan sebesar 0.8 MW. Jadi diluar kota Boroko PLTMH dapat mensuplai 100%.

Pemilihan jenis Turbin untuk pengembangan PLTMH diperlukan pengetahuan tentang karakteristik setiap jenis turbin agar dapat dioperasikan pada efisiensi yang Optimum. Berdasarkan data hidrologi didapatkan debit air rata-rata 4.477 m³/detik dan tinggi terjun air 45 meter dan hasil analisa putaran jenis turbin diperoleh 1000 rpm.

Maka jenis turbin yang memenuhi karakteristik tersebut adalah jenis turbin Francis yang mempunyai karakteristik sebagai berikut:

Debit air : 4 - 5m³/detik
 tinggi terjun air : 10 - 100 meter
 putaran jenis turbin : 500 - 1500 rpm
 Karakteristik efisiensi : 85%-95%

Disamping itu turbin ini konstruksinya relatif sederhana, mudah perawatannya, penyediaan suku cadang banyak di pasaran, dan dapat dioperasikan/dirawat oleh masyarakat desa.

Untuk mencari NPV₁ digunakan discount rate 12%, sedangkan NPV₂ dicari dengan discount

rate 13%. Dari perhitungan tabel di atas diperoleh: **NPV₁ > NPV₂**.

Jadi discount rate 12% lebih baik digunakan daripada 13% karena mempunyai tingkat keuntungan (**benefit**) akhir yang lebih tinggi. Perbandingan antara benefit dan cost adalah **9,64 (untuk NPV₁)** dan **8,10 (untuk NPV₂)**.

Jadi dapat ditarik kesimpulan bahwa penelitian ini dapat dikembangkan untuk pengembangan PLTMH karena memiliki tingkat benefit yang tinggi serta **IRR > discount rate** yang digunakan yaitu sebesar **17,19 %**.

2. SARAN – SARAN

- ✓ Penelitian ini dapat ditingkatkan pada Perencanaan pengembangan PLTMH.
- ✓ Untuk menjaga kontinuitas debit air Andalan/ rencana maka diharapkan kepada masyarakat dan instansi agar menjaga kelestarian sungai Bumiong dan Bolangitan.

DAFTAR RUJUKAN

- Arismunandar, A, DR, Kuwahara, S, DR. 1982. *Buku Pegangan Teknik Listrik, Pembangkitan dengan Tenaga Air, Jilid I, Cetakan ke empat PT. Pradnya Paramita, Jakarta.*
- Arismunandar, Wiranto. 1988. *Penggerak Mula Turbin*. Penerbit ITB, Bandung.
- Dake, JMK. 1983. *Essential Of Engineering Hydraulics, Sec Edition*, Imperial Collage Of Science and Technology, London.
- Departemen Pertambangan dan Energi Propinsi Sulawesi Utara, Direktorat Jendral Listrik dan Pengembangan Energi Bagian Proyek Pembinaan dan Pengembangan Listrik Pedesaan. 1988. *Laporan Survey Lokasi Tenaga Air untuk Pembangunan PLTMH di Kabupaten Boroko Kab.Bolmong Utara.*
- E.M. Wilson,1993, *Hidrologi Teknik*, ITB Bandung.
- O.F. Patty, 1995, *Tenaga Air*, Erlangga Jakarta.
- Ray K Linsley, 1989, *Teknik Sumber Daya Air,Gelora Aksara Pratama, Erlangga Jakarta.*
- Sri Harto, BR,1981, *Hidrologi Terapan*, Jogyakarta, Keluarga Himpunan Teknik SIPIL, UGM.
- Suryono Sosrodarsono, 2006, *Hidrologi Untuk Pengairan*, PT Pradnya Paramita Jakarta.
- Yandi Hermawan,1986 . *Hidrlogi untuk Insinyur*, Jakarta Erlangga.