

STUDI PERECANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) PADA BENDUNGAN LUBUK AMBACANG KABUPATEN KUANTAN SINGINGI PROVINSI RIAU

Muhammad Nur Azmi¹, Pitojo Tri Juwono², Prima Hadi Wicaksono²

¹Mahasiswa Program Sarjana Teknik Jurusan Pengairan Universitas Brawijaya

²Dosen Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

e-mail: nurazmy93@gmail.com

ABSTRAK: Memanfaatkan bangunan air menjadi multifungsi merupakan sebuah bentuk pengemangan sumber daya air yang bisa dilakukan. Adanya unit pembangkit listrik (PLTA) pada sebuah Bendungan akan menambah manfaat dari bendungan sendiri. Studi ini diperlukan untuk menganalisa potensi pembangkitan listrik yang dapat mengatasi kekurangan energi listrik di Riau dan Sumatra Barat. Studi ini berlokasi di Bendungan Lubuk Ambacang Kabupaten Kuantan Singingi dengan memanfaatkan tinggi jatuh dan debit pada waduk. Debit yang digunakan dalam studi ini mempertimbangkan 4 kondisi keandalan debit untuk mendapatkan keefisienan desain bangunan PLTA. Hasil studi ini menunjukkan bahwa debit yang layak digunakan yaitu sebesar 200 m³/dt yang dapat membangkitkan energi rerata tahunan sebesar 824.979,71 MWh. PLTA ini dibangun dengan komponen bangunan sipil yang meliputi bangunan pengambilan, pipa pesat, rumah pembangkit, dan tailrace, serta komponen peralatan elektrik seperti turbin francis, dan generator sebesar 50Hz.

Kata kunci: PLTA, Energi, Debit, Turbin, Listrik

ABSTRACT: Utilizing water building become multifunction is a form of water resources development. An electric generating unit (Hydropower) in a dam will give more benefit from a dam own. This study required to analyze the potential of the electric generator that can solve the lack of electrical power in Riau and West Sumatra. The study is located at Lubuk Ambacang Dam in Kuantan Singingi District by using head and discharge of it reservoir. The discharge used in this study was considered with 4 dependble flow conditions to get effective design of Hydropower. This study indicates that the usable discharge is 200 m³/s which is able to generate the annual energy in the amount of 824.979,71 MWh. This hydropower was built using the components of the civil structure, including intake, penstock, power house, and tailrace, along with the components of electrical tools such as France Turbine and Generator with 50Hz power.

Keyword : Hydropower, Energy, Discharg, Turbine, Electric

PENDAHULUAN

Manusia merupakan makhluk yang tidak bisa terlepas dari energi, termasuk juga energi listrik. Kebutuhan manusia atas energi listrik pun semakin membengkak akibat bertambahnya populasi manusia dan pola hidup manusia. Disisi lain persediaan listrik khususnya di Indonesia juga semakin menipis. Sering dijumpai pemadaman listrik bergilir di daerah-daerah sebagai salah satu upaya untuk penghematan listrik.

Indonesia merupakan negara yang memiliki curah hujan merata yang tergolong tinggi tentunya memiliki sumberdaya air yang sangat besar.. Pemanfaatan sumber daya air yang ada di Indonesia merupakan hal yang

mungkin bisa mengatasi beberapa permasalahan listrik yang ada di Indonesia.

Maka permasalahan energi listrik dan berlimpahnya sumber daya air yang ada di Indonesia merupakan sebuah problem dan solusi yang dapat di rekayasa. Memanfaatkan sumberdaya air sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dapat di wujudkan demi mendapat pasokan tenaga listrik untuk daerah-daerah yang sulit mendapatkan.

Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau memiliki dua aliran sungai besar yaitu Sungai Kuantan/Sungai Indragiri dan Sungai Singingi. Sungai ini memiliki debit yang sangat besar pada musim penghujan dan debit yang kecil pada musim

kemarau. Debit besar pada musim penghujan ini perlu ditampung dengan bendungan agar ketika musim kemarau tidak kekurangan air, serta dapat mengatasi permasalahan banjir akibat luapan air sungai. Dan dengan adanya bendungan ini akan lebih bermanfaat jika diterapkan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang sekaligus akan menunjang kebutuhan energi listrik di Kabupaten Kuantan Singingi maupun di Provinsi Riau.

BAHAN DAN METODE

Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air adalah pembangkit energi yang terbarukan (*renewable*) yang memanfaatkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik.

Dalam sistem kerja pembangkit listrik tenaga air terdapat 3 hal yang paling pokok yaitu air, turbin, dan generator.

Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Terdapat beberapa pembagian klasifikasi pembangkit listrik tenaga air. Berikut adalah penjelasannya:

1. PLTA secara teknis dibagi menjadi:
 - a. PLTA yang menggunakan air sungai atau air waduk,
 - b. PLTA yang menggunakan air yang telah dipompa ke suatu reservoir yang diletakkan lebih tinggi,
 - c. PLTA yang memanfaatkan pasang surut air laut,
 - d. PLTA yang menggunakan energi ombak.
2. Ditinjau dari bagaimana air di bendung, PLTA di bagi menjadi:
 - a. PLTA *run of river*
 - b. PLTA dengan DAM (bendungan),
3. Pembagian Menurut Kapasitas
 - a. PLTA mikro yaitu dengan daya 99 kW,
 - b. PLTA kapasitas rendah yaitu memiliki daya 100 kW sampai 999 kW,
 - c. PLTA kapasitas sedang yaitu memiliki daya 1000 kW sampai 9999 kW,
 - d. PLTA kapasitas tinggi yaitu memiliki daya diatas 10000 kW.
4. Pembagian Menurut Tinggi Jatuh Air
 - a. PLTA dengan tekanan rendah; $H < 15$ m
 - b. PLTA dengan tekanan sedang; $15 \text{ m} < H < 50$ m

- c. PLTA dengan tekanan tinggi; $H = 50$ m

Debit Andalan

Debit andalan didefinisikan sebagai debit yang tersedia guna keperluan tertentu misalnya untuk keperluan irigasi, PLTA, air baku dan lain-lain sepanjang tahun, dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan. (C.D. Soemarto,1986: 214).

Ada 4 metode untuk analisis debit andalan (Limantara,2010:87), antara lain:

1. Metode Debit Rata-Rata Minimum;
2. Metode Flow Characteristic;
3. Metode Tahun Dasar Perencanaan;
4. Metode Bulan Dasar Perencanaan.

Dari 4 metode diatas dipilih Metode Tahun Dasar Perencanaan (Basic Year) karena dinilai paling sesuai dengan kebutuhan dalam perencanaan.

Dalam menghitung debit dengan keandalan tertentu, di gunakan rumus dibawah ini:

$$R80 = n/5+1 \quad (1)$$

Dengan:

n = kala ulang yang diinginkan

$R80$ = debit yang terjadi $< R80$ adalah 20%

Angka 5 dalam rumus diatas didapat dari, $(100\%)/(100\% - 80\%) = 5$. Jadi ketika akan mencari debit dengan keandalan 50% maka, $[n / (100\%)/(100\% - 50\%) + 1] = n/2+1$.

Menurut Suyono Sudarsono (1990), keandalan berdasar kondisi debit dibedakan menjadi 4, antara lain: (Limantara,2010:91)

1. Debit air musim kering.
Keandalan : $355/365 \times 100\% = 97,30\%$
2. Debit air rendah. Keandalan : $275/365 \times 100\% = 75,30\%$
3. Debit air normal. Keandalan : $185/365 \times 100\% = 50,7\%$
4. Debit air cukup. Keandalan : $95/365 \times 100\% = 26,0\%$

Sistem Operasi Waduk

Pengoperasian waduk bertujuan membuat keseimbangan antara volume tampungan, debit inflow dan outflow..

Aturan umum dalam simulasi waduk adalah:

1. Air waduk tidak boleh turun di bawah tampungan aktif.
2. Air waduk tidak dapat melebihi batas atas tampungan aktif.

Komponen Bangunan PLTA

a) Bangunan Pengambilan (Intake)

Intake merupakan saluran yang digunakan sebagai pengeluaran debit dari bendungan untuk memenuhi kebutuhan di hilir bendungan. Dalam perencanaan bangunan pengambilan perlu pula direncanakan pintu intake dan operasinya guna mengatur debit yang keluar melalui bangunan pengambilan dari agar sesuai dengan debit yang diinginkan.

Untuk mengitung debit pada intake digunakan rumus berikut:

- Aliran Bebas

untuk perhitungan debit yang terjadi pada intake untuk aliran bebas digunakan rumus : (Yuwono,1988:93):

$$Q = Cd \cdot b \cdot \frac{2}{3} \cdot H \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot H} \quad (2)$$

Dengan:

- Cd = koefisien debit
 b = lebar intake
 H = tinggi air diatas intake

- Aliran Tenggelam

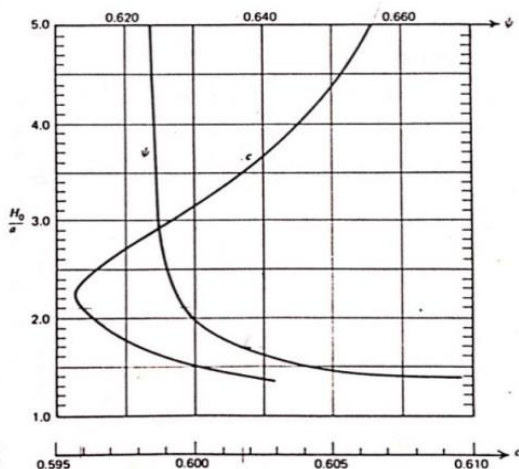
Untuk perhitungan debit yang terjadi pada intake dengan aliran tenggelam digunakan rumus : (Simon,1986:493)

$$Q = bac\sqrt{2g(H_0 - H_1)} \quad (3)$$

$$H = \Psi \cdot a \quad (4)$$

Dengan:

- b = Lebar intake (m)
 a = Tinggi bukaan intake (m)
 c = Koefisien debit didapat dari grafik (gambar 2.4)
 H₀ = Tinggi muka air diatas intake sebelum pintu (m)
 H₁ = Tinggi muka air setelah pintu (m)
 Ψ = Didapat dari grafik (gambar 1)



Gambar 1. Grafik H₀/a, c, dan Ψ

Sumber: Simon, 1986: 494

b) Pipa Pesat (penstock)

Pipa pesat adalah sebuah saluran yang mengalirkan dan mengarahkan air dari inlet waduk ke turbin. Untuk menjaga keamanan pipa pesat ini, perlu di perhitungkan hal-hal berikut:

a. Diameter Pipa Pesat

Untuk menentukan diameter pipa pesat yang ekonomis dapat ditentukan dengan persamaan Mosonyi:

$$D = 0,62 \times Q^{0,48} \quad (5)$$

Dimana:

D = diameter penstock (m)

Q = debit pada penstock (m³/dt)

Kecepatan yang diijinkan pada pipa pesat sangat bergantung pada jenis material bahan pipa pesat. Kecepatan ijin pipa pesat adalah sebagai berikut. (Mosonyi, 1963: 91)

- Pipa dari beton : 2 m/dt – 4 m/dt
- Pipa dari baja : 2,5 m/dt – 7 m/dt

b. Tebal Pipa Pesat

Perhitungan tebal pipa pesat dapat dihitung menggunakan beberapa persamaan berikut:

ASME (Mosonyi, 1963:270):

$$t = 2,5 D + 1,2 \quad (6)$$

USBR (Varshney, 1971:412):

$$t = (d+500)/400 (2-10) \quad (7)$$

Persamaan Pacific G. & E.Co:

$$t = \frac{D}{288} \quad (8)$$

Dimana:

D = Diameter pipa pesat (m)

t = Tebal pipa pesat (m)

c. Pengaruh Pukulan Air Terhadap Pipa Pesat

Rumus Water Hammer sebagai berikut (Chaudhry, 2014):

$$\alpha = \sqrt{K/(\rho \{1+K/E \Psi\})} \quad (9)$$

$$\Psi = 2 \left[\frac{R_2^0 + 1,5R_1^2}{R_2^0 - R_1^2} + \frac{v(R_2^0 - 3R_1^2)}{R_2^0 - R_1^2} \right] \quad (10)$$

$$\rho = \alpha V_0 / 2gH_0 \quad (11)$$

$$\theta = (\alpha T) / 2L_0 \quad (12)$$

$$n = \rho / \theta \quad (13)$$

Dimana untuk turbin Francis rumusnya adalah sebagai berikut:

$$h_o/H_o = (0,75/(\theta\sqrt{\theta}) + 1,25)n \quad (14)$$

Dimana:

ρ = tekanan hidrostatis akibat tinggi jatuh (head)

V = kecepatan (m/dt)

T = Waktu penutupan katup (detik)

H_o = tinggi pukulan air terhadap katup (m)

H_o = Tinggi tekana saat masuk dan keluar katup di turbin (m)

K = modulus air ($2,1 \times 10^9$ N/m²)

g = gravitasi (m²/s)

E = Modulus elatis bahan pipa

A = Kecepatan gelombang

L_o = Panjang saluran pipa (m)

d. Kadalaman Minimum Aliran Tenggelam Pada Inlet Pipa Pesat

Menurut Penche intake pipa pesat harus direncanakan sedemikian rupa sehingga tidak mengalami vorticity. Vorticity merupakan fenomena kekurangan tekanan pada pipa pesat (Penche,2004:120)

$$H_t > s$$

$$s = c V\sqrt{D} \quad (15)$$

Dimana:

c = 0,7245 untuk inlet asimetris
0,5434 untuk inlet simetris

V = kecepatan masuk aliran (m/dt)

D = diameter inlet pipa pesat (m)

Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif merupakan selisih elevasi muka air pada waduk (EMAW) dengan tail water level (TWL) dikurangi dengan total kehilangan tinggi tekan (ramos,2000:57).

$$H_{eff} = EMAW - TWL - h_l \quad (19)$$

Dimana:

H_{eff} = tinggi jatuh efektif

EMAW = elevasi muka air waduk atau hulu bangunan pengambilan

TWL = tail water level (m)

h_l = total kehilangan tinggi tekan (m)

Kehilangan Tinggi (Head Loss)

Kehilangan tinggi energi adalah menurunnya besarnya energi akibat gesekan maupun kontraksi yang terjadi selama proses pengaliran. Dalam perencanaan PLTA Bendungan Lubuk Ambacang hanya akan digunakan saluran tertutup.

Perhitungan kehilangan pada saluran tertutup dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu kehilangan tinggi mayor dan kehilangan tinggi minor:

a. Besarnya kehilangan tinggi mayor pada saluran tertutup dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Chezy - Manning (Penche,2004:33):

$$V = (R^{2/3} S^{1/2})/n \quad (20)$$

$$h_f = (n^2 v^2)/R^{4/3} \quad (21)$$

Dengan:

V = kecepatan aliran (m/s)

R = jari-jari hidraulik

S = kemiringan saluran

N = koefisien kekasaran manning

L = panjang saluran (m)

h_L = Head Loss

b. Besarnya kehilangan tinggi minor dapat dihitung dengan persamaan berikut (Ramos,2000:64)

$$H_f = \xi \cdot v^2/2g \quad (22)$$

Dengan:

ξ = koefisien berdasarkan jenis kontraksi

v = kecepatan masuk (m/dt)

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

Nilai ξ dapat ditentukan berdasarkan jenis kontraksi yang terjadi pada pengaliran.

Turbin Hidraulik

Turbin-turbin hidraulik yang terhubung dengan generator memiliki fungsi utama yaitu mengubah energi air menjadi energi mekanis yang kemudian dirubah menjadi energi listrik. (Dandekar Sharma,1991:391)

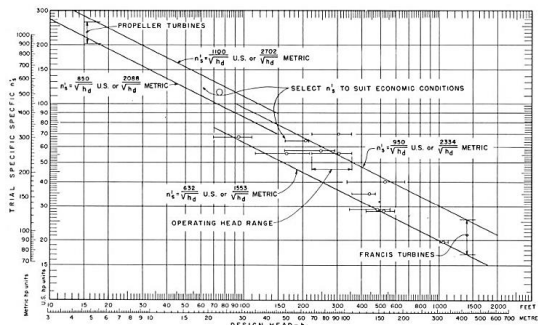
Untuk memudahkan pemilihan jenis turbin, maka turbin-turbin tersebut diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi dan Kapasitas Turbin

Hydraulic Turbines		H (m)	Q (m ³ /s)	P (kW)	N _s (r.p.m.) (kW, m)
Reaction	Bulb	2 - 10	3 - 40	100 - 2500	200 - 450
	Kaplan and propeller - axial flow	2 - 20	3 - 50	50 - 5000	250 - 700
	Francis with high specific speed - diagonal flow	10 - 40	0,7 - 10	100 - 5000	100 - 250
	Francis with low specific speed - radial flow	40 - 200	1 - 20	500 - 15000	30 - 100
Impulse	Pelton	60 - 1000	0,2 - 5	200 - 15000	<30
	Turgo	30 - 200		100 - 6000	
	Cross-flow	2 - 50	0,01 - 0,12	2 - 15	

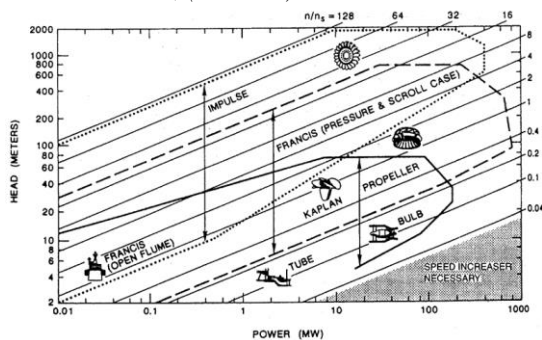
Sumber: Ramos, (2000:82)

Selain klasifikasi tersebut, pemilihan jenis turbin juga bisa ditentukan berdasarkan grafik yang dikutip dari USBR berikut:



Gambar 2. Grafik Penentuan Turbin Berdasarkan Kecepatan Spesifik dan Tinggi Jatuh

Sumber : USBR, (1976:15)



Gambar 3. Grafik untuk Penentuan Turbin Berdasarkan Daya Bangkitan dan Tinggi Jatuh

Sumber: Roger E. A. Arndt, 1998

a) Karakteristik Turbin

Karakteristik turbin meliputi kecepatan spesifik turbin (Ns), kecepatan putar turbin atau kecepatan sinkron generator (n).

Formula untuk menghitung besarnya kecepatan spesifik dengan metode ESHA adalah (Penche,2004:168):

$$NQE = n \sqrt{Q/E^{3/4}} \quad (23)$$

NQE' (coba-coba) untuk turbin francis dihitung dengan persamaan berikut:

$$NQE' = 1,924/H^{0,512} \quad (24)$$

Dengan:

NQE = kecepatan spesifik (tak berdimensi)

Q = debit aliran (m³/dt)

E = energi hidroulik spesifik, didapat dari (E = H x g) (j/kg)

n = Putaran dasar turbin (t/s)

H = Tinggi jatuh (m)

b) Kavitasasi dan Titik Pusat Turbin

Untuk menghindari terjadinya kavitas maka turbin harus diletakkan pada posisi yang aman yaitu titik dari tinggi hisap (hs) sampai titik pusat turbin.

$$Z = TWL + Hs + b \quad (25)$$

Dimana:

Z : titik pusat turbin (m)

TWL : elevasi tail water level (m)

Hs : Tinggi hisap turbin (m)

b : perbedaan tinggi antar pusat turbin dengan outlet runner

$$Hs = (Patm - Pv) / \rho g + V^2 / 2g - \sigma H \quad (26)$$

Dimana:

Hs : tinggi hisap (m)

Patm : tekanan atmosfer (Pa)

Pv : tekanan uap air (Pa)

H : tinggi jatuh efektif (m)

σ : koef thoma

ρ : berat jenis air (kg/m³)

g : percepatan gravitasi (m/dt²)

V : kecepatan aliran (m/dt) (Penche,2004: 178 menyarankan 2 m/dt sebagai pendekatan awal)

Dan untuk mengontrol kavitasasi digunakan koefisien thoma kritis (σc) dihitung dengan:

$$\sigma c = 1,2715 N_{QE}^{1,41} + \frac{V^2}{2gH} \quad (27)$$

dimana:

σ c : koefisien kritis thoma

Ns : kecepatan spesifik (m kW) (metode USBR)

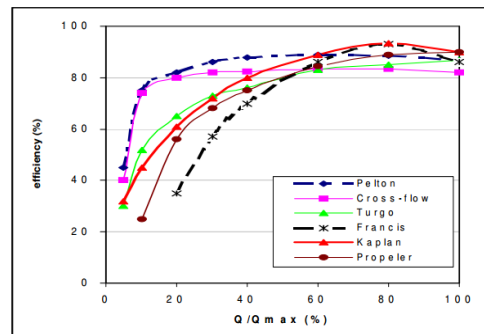
NQE : kecepatan spesifik (metode ESHA)

c) Dimensi Turbin

Perhitungan dimensi turbin reaksi yaitu meliputi: Dimensi runner turbin, dimensi wicket gate, dimensi spiral case dan dimensi draft tube.

d) Effisiensi Turbin

Effisiensi turbin sangat tergantung kepada pengaruh dari debit aktual dalam turbin dengan debit desain turbin (Q/Qd), effisiensi turbin ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4 Kisaran Nilai Efisiensi Untuk Tiap Jenis Turbin

Sumber: Ramos,2000:99

Analisa Pembangkitan Energi

Dalam perhitungan energi secara teoritis digunakan rumus berikut:

$$E = 9,8 \times H \times Q \times \eta_g \times \eta_t \times 24 \times n \quad (28)$$

Dimana:

E = Energi tiap satu periode (kWh)

H = Tinggi jatuh efektif (m)

Q = Debit outflow (m³/dtk)

η_g = Efisiensi generator

η_t = Efisiensi turbin

n = Jumlah hari dalam satu periode

Analisa Ekonomi

Analisa ekonomi dilakukan agar dapat mengetahui kelayakan suatu proyek dari segi ekonomi.

a) Benefit (Komponen Manfaat)

Merupakan manfaat pembangkit listrik tenaga air didasarkan pada tenaga listrik yang dihasilkan tiap tahun dan tarif dasar listrik yang berlaku.

b) Cost (Komponen Biaya)

Pada analisa ekonomi biaya-biaya tersebut dikelompokkan menjadi dua yaitu biaya modal dan biaya tahunan

c) Indikator Kelayakan Ekonomi

Suatu proyek dikatakan layak dari segi ekonomi apabila memenuhi indikator-indikator kelayakan ekonomi. Dalam studi ini, berikut merupakan indikator kelayakan yang akan dianalisa:

- Perbandingan manfaat dan biaya (BCR)
- Selisih manfaat dan biaya (Net Present Value)
- Tingkat pengembalian internal (*Internal Rate of Return*)
- Analisa Sensitivitas
- Payback Periode

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Dari data debit AWLR Lubuk Ambacang tahun 1993-2014 dilakukan perhitungan debit andalan dengan menggunakan metode *Basic Year*. Hasil analisa debit andalan adalah sebagai berikut:

- Debit air cukup (26,02%) = 261,16 m³/dt yang terjadi pada tahun 2008
- Debit air normal (50,68%) = 229,899 m³/dt yang terjadi pada tahun 2013

- Debit air rendah (75,34%) = 193,86 m³/dt yang terjadi pada tahun 2009
- Debit air kering (97,34%) = 167,33 m³/dt yang terjadi pada tahun 2005

Simulasi Waduk

Dan dari perhitungan simulasi operasi waduk didapatkan debit pembangkit yang aman dari segi tampungan waduk dan dari segi kemampuan sungai di bagian hilir, yaitu sebesar 200m³/dt.

Perencanaan Bangunan Sipil

a. Bangunan Pengambilan (*Intake*)

Bendungan Lubuk Ambacang ini di rencanakan dengan menggunakan 2 buah bangunan intake. Dengan debit masing-masing intake sebesar 100 m³/dt. Maka di dapatkan:

El dasar *intake* = +107,05

Lebar *intake* rencana = 6 m

Ketinggian *intake* = 6 m

b. Perencanaan Pipa Pesat (*Penstock*)

• Diameter Pipa Pesat

Data yang dibutuhkan dalam merencanakan pipa pesat adalah sebagai berikut :

- Debit total = 200,00 m³/dt
- Panjang pipa pesat = 125 m
- Tinggi jatuh kotor = 69,460 m
- Koefisien manning (n) = 0,015
- Jumlah pipa pesat = 2 buah
- Debit untuk tiap pipa pesat = 100 m³/dt
- Debit desain = 110 m³/dt

Menurut Mosonyi kecepatan yang diijinkan untuk material baja adalah 2,5 – 7 m/dt. Berikut persamaan menurut Mosonyi untuk menghitung diameter pipa pesat:

$$\begin{aligned} D &= 0,62 \times Q \times 0,48 \\ &= 0,62 \times 110 \times 0,48 \\ &= 5,919 \text{ m} \end{aligned}$$

$$A = 27,518 \text{ m}^2$$

Dengan diameter dan luas pipa pesat diatas di dapatkan kecepatan sebesar:

$$\begin{aligned} V &= Q/A \\ &= 110 / 27,518 \\ &= 3,997 \text{ m/dt} \text{ (maka memenuhi} \\ &\text{kecepatan izin)} \end{aligned}$$

• Tebal Pipa Pesat

Ketebalan pipa pesat direncanakan sedemikian rupa sehingga kuat untuk menahan pengaruh tekanan air yang ada didalam pipa

pesat. Tebal pipa pesat dihitung dengan persamaan berikut:

- Persamaan Pacific G & E.Co :
 $t = D/288$
 $= 6000/288$
 $t = 20,833 \text{ mm,}$
 kemudian ditambahkan jagaan korosif sebesar 3 mm
 $t = 23,833 \text{ mm}$
- Persamaan USBR
 $t = (D+500)/400$
 $= (6000+500)/400$
 $t = 16,25 \text{ mm}$
 kemudian ditambahkan jagaan korosif sebesar 3 mm
 $t = 19,25 \text{ mm}$
- Persamaan ASME
 $t = (2,5 \cdot D) + 1,2$
 $= (2,5 \cdot 6) + 1,2$
 $= 16,200 \text{ mm}$

Dari ketiga persamaan tersebut diambil nilai maksimum yaitu persamaan PG&E dengan tebal pipa pesat 23,833 mm yang kemudian dibulatkan menjadi 24 mm.

• **Menghitung Minimum Operation Level**

Menurut ESHA terdapat empat persamaan dalam menghitung ketinggian air minimum sebelum pipa pesat.

$$\text{Knauss} = D \cdot 1 + 2,3 \cdot \frac{V}{\sqrt{g \cdot D}}$$

$$= 6 \left(1 + 2,3 \times \frac{3,890}{\sqrt{9,81 \cdot 6}} \right)$$

$$= 6,91 \text{ m}$$

$$\text{Nagarkar} = 4,4 \cdot (V \cdot D^{0,50})^{0,54}$$

$$= 4,4 \cdot (3,890 \cdot 6^{0,05})^{0,54}$$

$$= 9,62 \text{ ,}$$

$$\text{Rohan} = 1,474 \cdot V^{0,48} \cdot D^{0,76}$$

$$= 1,474 \cdot 3,890^{0,48} \cdot 6^{0,76}$$

$$= 11,04 \text{ m}$$

$$\text{Gordon} = c \cdot V \cdot \sqrt{D}$$

$$= 0,7245 \cdot 3,890 \cdot \sqrt{6}$$

$$= 6,90 \text{ m}$$

Diambil hasil perhitungan dari Gordon yang memiliki nilai paling kecil, sehingga didapat kedalaman tampungan waduk efektif lebih besar. Maka MOL terdapat pada elevasi:

$$\text{MOL} = \text{El. Dasar intake} + \text{Tinggi Intake} + \text{Ht}$$

$$= 107,05 + 6 + 6,90$$

$$= + 119,95$$

Maka didapatkan kedalaman efektif waduk setinggi:

$$\text{Kedalaman efektif waduk} = \text{NWL} - \text{MOL}$$

$$= 125 - 119,95$$

$$= 5,05 \text{ m}$$

• **Penentuan Jenis Baja yang digunakan dalam Perencanaan Pipa Pesat**

Untuk perencanaan bahan pipa pesat pada PLTA Bendungan Lubuk Ambacang cocok menggunakan baja karbon SM 400B. Jenis ini dipilih karena memiliki kekuatan menahan tekanan, dan baja ini memiliki ketebalan antara 16 – 40 mm.

• **Kebutuhan Terhadap Tangki Gelombang**

Pipa pesat membutuhkan tangki gelombang bila $L > 4H$ (AHEC,2009:50), dalam studi ini panjang pipa pesat (L) adalah 125 m, sedangkan tinggi jatuh (H) adalah 69,64 m maka :

$$125 < 4(69,64)$$

$$125 < 277,84$$

Sehingga pipa pesat tidak membutuhkan tangki gelombang.

c. **Saluran Pembuang (Tail Race)**

Setelah melalui fasilitas pembangkitan, debit akan dikembalikan ke sungai asli melalui draft tube menuju saluran pembuang (tail race). Data teknis saluran pembuang adalah sebagai berikut:

Lebar dasar rerata	= 49.00 m
Slope, S	= 0.007
Manning, n	= 0.014

Berdasarkan data teknis tersebut, dapat diperoleh hubungan tinggi air dan debit pada saluran pembuang (tailrace) sebagai berikut:

Berdasarkan tabel 2 dapat diperoleh tinggi air di tailrace pada saat operasi unit PLTA Lubuk Ambacang adalah sebagai berikut :

- 1 Unit PLTA Operasi :Q = 110 m³/dt,
Elevasi TWL = El. + 55,54 m
- 2 Unit PLTA Operasi :Q = 220 m³/dt,
Elevasi TWL = El. + 55,83 m

Dari kesimpulan elevasi TWL diatas dapat direncanakan tinggi saluran tailrace = 1 m yaitu pada elevasi 56,98 m, sehingga dinilai aman untuk dilewati debit untuk 2 unit PLTA.

Tabel 2 Hubungan Tinggi Air dan Debit pada Saluran Pembuang

No	b	h	A	P	A/P	n	s	V	Elevasi	Q
1	49	0.1	4.90	49.20	0.100	0.014	0.007	1.284	55.08	6.292
2	49	0.2	9.80	49.40	0.198	0.014	0.007	2.033	55.18	19.921
3	49	0.3	14.70	49.60	0.296	0.014	0.007	2.657	55.28	39.051
4	49	0.4	19.60	49.80	0.394	0.014	0.007	3.210	55.38	62.906
5	49	0.5	24.50	50.00	0.490	0.014	0.007	3.714	55.48	91.002
6	49	0.6	29.40	50.20	0.586	0.014	0.007	4.183	55.58	122.988
7	49	0.7	34.30	50.40	0.681	0.014	0.007	4.624	55.68	158.595
8	49	0.8	39.20	50.60	0.775	0.014	0.007	5.041	55.78	197.605
9	49	0.9	44.10	50.80	0.868	0.014	0.007	5.438	55.88	239.833
10	49	1	49.00	51.00	0.961	0.014	0.007	5.819	55.98	285.124
11	49	1.1	53.90	51.20	1.053	0.014	0.007	6.184	56.08	333.341
12	49	1.2	58.80	51.40	1.144	0.014	0.007	6.537	56.18	384.363
13	49	1.3	63.70	51.60	1.234	0.014	0.007	6.877	56.28	438.080
14	49	1.4	68.60	51.80	1.324	0.014	0.007	7.207	56.38	494.396
15	49	1.5	73.50	52.00	1.413	0.014	0.007	7.527	56.48	553.220

Sumber: Hasil Perhitungan

Tinggi Jatuh Efektif (Net Head)

Tinggi jatuh efektif adalah hasil pengurangan tinggi jatuh kotor dengan total kehilangan tinggi tekan. Perhitungan tinggi jatuh efektif dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3 Rekapitulasi Kehilangan Energi

No	Parameter Tinggi Tekan	Hf
1	Kehilangan pada Intake	
	trashrack	1.44
	intake	0.12
2	Kehilangan pada pipa pesat	
	Akibat gesekan	0.10
	Akibat belokan 1	0.37
	Akibat belokan 2	0.37
	Akibat pengecilan intake ke pipa	0.06
	Akibat outlet pipa	0.20
3	Kehilangan sebelum turbin	
	Diasumsikan	0.1
	Total kehilangan	2.74
	Gross Head	69.46
	Tinggi jatuh efektif	66.72

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel perhitungan diatas dapat diketahui tinggi jatuh efektif PLTA Bendungan Lubuk Ambacang adalah sebesar 66,72 m.

Perencanaan Peralatan Hidromekanik dan Elektrik

a. Turbin Hidraulik

Berikut adalah kesimpulan dalam perhitungan peralatan hidromekanik dan

elektrik dengan menggunakan metode ESHA dan USBR:

Tabel 4. Kesimpulan Perhitungan Turbin Hidrolik untuk Tiap Metode

No.	Uraian	Metode Eropa (ESHA)		Metode Amerika (USBR)	
		Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
1	Tipe Turbin	Francis		Francis	
2	Frekuensi Generator	50	Hz	50	Hz
3	Kutub Generator (p)	38	buah	40	buah
4	Kecepatan Putar (n)	157.895	rpm	150.00	rpm
5	Rasio Kecepatan	0.450	m/dt	0.714	m/dt
6	Diameter Maksimum	4.948	m	3.283	m
7	Koefisien Kavitas Kritis (σc)	0.147		0.115	
8	Tinggi Hisap Kritis (Hs)	0.496	m	2.881	m
9	Tinggi Hisap Rencana (Hs')	-1.00	m	-1.00	m
10	Elv Pusat Turbin (Z)	54.54	m	54.54	m
11	Koefisien Kavitas Aktual (σa)	0.166		0.163	
12	Kontrol Kavitas	aman		aman	

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa Metode Eropa (ESHA) lebih cocok digunakan dalam perencanaan PLTA Lubuk Ambacang ini karena dinilai lebih ekonomis.

b. Generator

Pada PLTA Ambacang ini dipilih generator jenis sinkron tiga-fasa, poros vertical tipe umbrella. Daya keluar generator dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_g = \frac{P_t \eta_g}{P_f}$$

dengan:

P_g : rating keluaran generator

P_t : rating keluaran turbin (kW)

η_g : efisiensi generator

P_f : faktor tenaga

Daya keluar (Pg) generator akan dihitung berdasarkan pada daya teoritis dari perhitungan turbin (Pt) yaitu sebesar 62566,804 kW. Dan dengan melihat pada tabel 2.7 didapat angka efisiensi generator sebesar 97%. Maka didapatkan nilai Pg sebesar:

$$P_g = \frac{62566,804 \cdot 0,97}{0,8}$$

$$P_g = 75.862,250 \text{ kVA}$$

Analisa Pembangkitan Energi

Tabel 5 Rekapitulasi Simulasi Energi Series

No	Tahun	Energi	
		Bulanan MWh	Energi Tahunan MWh
1	1993	78,516.99	942,203.86
2	1994	66,336.97	796,043.70
3	1995	77,766.47	933,197.60
4	1996	75,625.46	907,505.48
5	1997	41,609.03	499,308.39
6	1998	69,847.97	838,175.62
7	1999	59,304.19	711,650.32
8	2000	64,877.76	778,533.17
9	2001	46,313.00	555,755.99
10	2002	76,124.87	913,498.48
11	2003	77,539.14	930,469.72
12	2004	71,433.86	785,772.45
13	2005	59,789.15	717,469.81
14	2006	70,405.55	844,866.61
15	2007	77,011.42	924,137.06
16	2008	79,354.44	952,253.25
17	2009	63,393.69	760,724.23
18	2010	70,438.07	900,958.26
19	2011	70,438.07	845,256.86
20	2012	73,051.40	876,616.84
21	2013	75,562.82	906,753.86
22	2014	70,896.90	850,762.78
Rerata Energi Tahunan		825,996.11	
Rerata Energi Bulanan		68,892.60	

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel diatas merupakan hasil rekapitulasi simulasi analisa energi series. Analisa pembangkitan energi pada studi ini dihitung secara series, yaitu dilakukan simulasi energi dari tahun 1993 hingga tahun 2014 sesuai dari data debit yang diambil.

Berikut adalah data teknis yang dibutuhkan dalam analisa pembangkitan energi:

- Debit outflow : 200 m³/dt
- Tampungan efektif : 536,93 juta m³
- Tampungan mati : 529,90 juta m³

- Tampungan maksimum TWL: 1.402,20 m³/dt
- Efisiensi turbin : 87 %
- Efisiensi generator : 97 %
- El. TWL : + 55,54
- Head loss total : 2,74 m

Faktor Kapasitas

Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2017, Tenaga Air harus mampu beroperasi dengan faktor kapasitas (capacity factor) paling sedikit sebesar 65% (enam puluh lima persen), Dan untuk perhitungan faktor kapasitas untuk PLTA Bendungan Lubuk Ambacang adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rerata energi tahunan} &= 824.979,71 \text{ MWh} \\ \text{Daya PLTA} &= 110,33 \text{ MW} \\ \text{Kapasitas faktor} &= \\ &= \frac{\text{Energi Rerata Tahunan}}{(365 \text{ hari}) \times (24 \text{ jam}) \times (\text{Daya PLTA})} \end{aligned}$$

$$= \frac{824.979,71}{(365 \text{ hari}) \times (24 \text{ jam}) \times (110,33)}$$

$$= 85,36\%$$

Maka PLTA Bendungan Lubuk Ambacang ini dinilai layak beroperasi secara teknis.

Analisa Ekonomi

a. Komponen Biaya

Dalam perhitungan komponen biaya akan diperhitungkan biaya dari masing – masing komponen berdasarkan rumus empiris dari *RETscreen Canada*. Parameter yang digunakan dalam perhitungnan komponen biaya adalah sebagai berikut:

- Debit rencana (Q) = 200 m³/detik
- Tinggi jatuh efektif (Hg) = 66,72 meter
- Daya dibangkitkan (MW) = 110,47 MW
- Jumlah turbin (n) = 2 unit
- Berat Pipa Pesat (W) = 444247,20 kg
- Diameter runner turbin (d) = 3,016 meter
- Panjang crest bendung (ld) = 376 meter
- Kurs Kanada ke rupiah = Rp. 10.556,11 (13 Desember 2017)

Tabel 6 Rekapitulasi Harga Komponen PLTA Bendungan Lubuk Ambacang

No	Komponen	Biaya
1	Teknis	Rp 18,017,807,353.98
2	Elektromekanikal	Rp 101,012,466,683.68
3	Instalasi elektromekanikal	Rp 15,151,870,002.55
4	Kabel transmisi	Rp 572,025,340.92
5	Substansi dan transformer	Rp 11,294,992,485.63
6	instalasi substansi dan transformer	Rp 1,694,248,872.84
7	Pekerjaan sipil	Rp 279,895,531,944.60
8	Pipa pesat	Rp 6,002,352,808.99
9	Instalasi pipa pesat	Rp 245,553,391.79
10	Biaya lain-lain	Rp 2,368,765,576,631.59
Total		Rp 2,802,652,425,516.58

Sumber: Hasil Perhitungan

b. Nilai Sekarang (*Present Value*)

Dalam perhitungan nilai sekarang akan memperhitungkan biaya investasi, biaya O&P hingga biaya pajak air permukaan. Perhitungan nilai sekarang berdasarkan tabel bunga 9,75% dengan periode 1 tahun mulai pembangunan, 20 tahun untuk pembangkitan dan 7 tahun untuk peminjaman. Dan dari perhitungan didapatkan nilai biaya sekarang sebesar Rp 5.314.251.509.294,37.

c. Manfaat

Manfaat atau bisa disebut dengan keuntungan, diperhitungkan berdasarkan energi yang dihasilkan dengan harga jual Rp 826,50 per kWh. Maka selama 20 tahun PLTA Bendungan Lubuk Ambacang menghasilkan keuntungan sebesar
 $= 825.996.107,39 \text{ kWh} \times \text{Rp}862,50 \times 20 \text{ Tahun}$
 $= \text{Rp}14.248.432.852.458,60$
 setelah itu dikonfersikan dengan factor bunga, sehingga manfaat menjadi sebesar Rp 6.174.665.239.859,34

d. *Benefit cost ratio* (BCR)

BCR diperhitungkan berdasarkan perbandingan antara biaya dengan manfaat, maka nilai BCR sebagai berikut:

$$BCR = \frac{PV \text{ Manfaat}}{PV \text{ Biaya}}$$

$$= \frac{\text{Rp } 6.174.665.239.859,34}{\text{Rp}5.314.251.509.294,37}$$

$$= 1,16$$

e. *Net Present Value* (NPV)

Dalam perhitungan Net Present Value akan memperhitungkan selisih antara PV manfaat dengan PV biaya. Untuk lebih jelasnya akan diperhitungkan sebagai berikut:

$$NPV = \text{Manfaat} - \text{Biaya}$$

$$= \text{Rp } 6.174.665.239.859,34 - \text{Rp } 5.314.251.509.294,37$$

$$= \text{Rp } 860.413.730.564,97$$

f. *Internal Rate of Return* (IRR)

$$IRR = \frac{NPV - NPV \text{ 11\%}}{NPV \text{ 10\%} - NPV \text{ 11\%}} \times (11\% - 10\%) + 11\%$$

$$= \frac{0 - (-118,222,023,097.28)}{662,243,640,286.49 - (-118,222,023,097.28)} \times (11\% - 10\%) + 11\%$$

$$= 10,85\%$$

Sehingga pada suku bunga 10,85% akan mengakibatkan BCR = 1 dan NPV = 0 atau tidak mendapatkan keuntungan.

g. *Payback Period*

Dalam perhitungan Payback Period akan memperhitungkan berapa lama jangka waktu yang diperlukan untuk mengembalikan biaya yang dikeluarkan untuk proyek PLTA Lubuk Ambacang.

$$\text{Payback period} = \frac{\text{biaya}}{\text{rerata manfaat}}$$

$$= \frac{\text{Rp } 5.314.251.509.294,37}{\text{Rp } 308.733.261.992,97}$$

$$= 17,213 \text{ tahun}$$

3. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan dan dengan memperhatikan rumusan masalah yang ada bab I, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Pada PLTA Bendungan Lubuk Ambacang ini memiliki spesifikasi pipa pesat sebagai berikut:
 - Jumlah pipa pesat : 2 buah pipa (tanpa ada percabangan pipa)
 - Diameter pipa pesat : 6 m (untuk setiap pipa)
 - Tebal pipa pesat : 24 mm

2. PLTA Bendungan Lubuk Ambacang ini memiliki gross head sebesar 69,46 m dan memiliki total kehilangan sebesar 2,74 m. Sehingga PLTA ini memiliki head efektif sebesar 66,72 m.
3. Pada perencanaan turbin untuk PLTA Bendungan Lubuk Ambacang ini diambil Turbin Francis dengan sumbu vertikal dengan pertimbangan Turbin Francis ini cocok digunakan pada PLTA yang memiliki head atau tinggi jatuh sebesar 16 m – 70 m. Sedangkan PLTA Bendungan Lubuk Ambacang ini memiliki head sebesar 66,72 m.
4. Dari perhitungan energi PLTA Bendungan Lubuk Ambacang secara series dari data debit tahun 1993-2014 didapatkan rerata energi tahunan sebesar 824.979,71 MWh, dan rerata energi bulanan sebesar 68.807,68 MWh.
5. Hasil analisa ekonomi merupakan hasil perhitungan yang dapat dilihat kesimpulannya sebagai berikut:
 - Biaya Total
= Rp 5.314.251.509.294,37
 - Keuntungan 20 Tahun
= Rp 6.174.665.239.859,34
 - Benefit Cost Ratio (BCR)
= 1,16
 - Net Present Value (NPV)
= Rp 860.413.730.564,97
 - Internal Rate of Return (IRR)
= 10,85 %
 - Payback Period
= 17,213 tahun

Saran

Dari studi perencanaan ini dapat diketahui bahwa pembangunan PLTA Bendungan Lubuk Ambacang yang terletak di Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau secara teknik dan ekonomi dapat dilaksanakan dan dinilai oleh penulis bahwa PLTA ini memiliki potensi keluaran energi yang sangat besar sehingga bisa mengatasi permasalahan kekurangan pasokan energi listrik. Agar PLTA Bendungan Lubuk Ambacang ini dapat direalisasikan dengan baik dan memberikan

manfaat yang optimal maka penulis memberikan saran sebagai berikut:

- Adanya sosialisasi serta kerja sama yang baik antara masyarakat setempat dengan pihak pengelola pembangunan Bendungan Lubuk Ambacang
- Operasi dan *maintenance* yang baik dari pihak pengelola Bendungan lubuk ambacang serta peran masyarakat dalam menjaga keutuhan konstruksi juga diperlukan
- Sebaiknya diadakan program pelestarian daerah hutan di sekitar Bendungan mengingat besarnya laju sedimentasi di DAS Indragiri ini yang dapat mengakibatkan usia guna bendungan menjadi lebih singkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (1976). **Engineering Monograph No. 20 Selection Hydraulic Reaction Turbines**, United States Bureau of Reclamation. Amerika
- Dandekar, MM dan K.N. Sharma. (1991). **Pembangkit Listrik Tenaga Air**. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Montarcih, L. (2010). **Hidrologi Praktis**. CV Lubuk Agung. Bandung.
- Mosonyi, Emil. (1963). **Water Power Development Volume One Low Head Power Plant**. Akademiai. Budapest.
- Penche, Celso. (2004). **Guide Book on How to Develop a Small Hydro Set**. ESHA (European Small Hydropower Association). Belgia.
- Ramos, Helena. (1999). **Guidelines For Design of Small Hydropower Plants**. WREAN (Western Regional Energy Agency & Network) and DED (Department of Economic Development). Irlandia.
- Retscreen International. (2004). **Small Hydro Project Analysis**. Minister of Natural Resources Canada. Canada
- Simon, Andrew L. (1986). **Hydraulics Third Edition**. United States of America. Canada
- Varshney, R. S. (1977). **Hydropower structure**. N. C. Jain at the Roorkee Press. India
- Yuwono, Nur. (1988). **Hidrolika I**. PT. Haninditya Offset. Yogyakarta