

# KAJIAN PENINGKATAN KAPASITAS PLTA LODOYO

Wiwik Widyaningsih<sup>1</sup>, Rispiningtati<sup>2</sup>, Pitojo Tri Juwono<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Magister Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang.

**Abstrak:** Bendung Lodoyo memiliki potensi untuk pengembangan sumber energi, dimana kelebihan debit outflow yang selama ini melimpas melalui pelimpah masih dapat digunakan untuk peningkatan kapasitas pembangkit baru.

Dengan tersedianya data outflow spillway, dapat dihitung potensi tambahan yang dihasilkan dengan menganalisa tinggi jatuh efektif dan energi yang dihasilkan. Untuk kelayakan ekonomi, besar energi yang optimal dianalisa terhadap parameter B/C Ratio, IRR, dan NPV dengan nilai manfaat dihitung terhadap harga jual listrik.

Dengan 4 alternatif debit rencana pembangkitan pada 2 alternatif lokasi, dianalisa debit pembangkitan yang optimal. Hasil analisa alternatif 1 yang berada disisi kiri sungai didapat nilai kelayakan dari parameter BCR terbesar adalah sebesar 1,037 (suku bunga 12%) pada alternatif debit 34,05 m<sup>3</sup>/det ( $Q_{75\%}$ ) yang menghasilkan kapasitas terpasang 3,20 MW dan energi tahunan 25,58 GWh. Untuk alternatif 2 berada disisi kanan sungai didapat nilai BCR terbesar 1,076 pada debit yang sama dan menghasilkan energi tahunan sebesar 25,65 GWh sehingga pada alternatif ini menghasilkan debit pembangkitan yang paling optimal.

**Kata Kunci:** debit, tinggi jatuh, energi, kelayakan ekonomi.

**Abstract:** Lodoyo dam has the potential to development of energy resources especially hydro energy power plant (HEPP), where the excess outflow discharge through spillway still have potential for capacity improvement.

With the availability of outflow discharge through spillway data, the additional potential energy can be calculated, by analyze of head effective and energy. Also can performed in economic feasibility with parameter B/C Ratio, IRR, and NPV where benefit value calculated from the selling price of electric generated.

The optimum improvement based on four alternative discharge outflow design with two alternative alignment. From 1<sup>st</sup> alternative analysis where located on the left river, the largest value of B/C Ratio at 1.037 (at the rate 12%) on discharge outflow at 34.05 m<sup>3</sup>/sec ( $Q_{75\%}$ ) with an installed capacity 3.20 MW, and an annual energy at 25.58 GWh. For 2<sup>nd</sup> alternative where located on the right side of river has largest B/C Ratio values at 1.076 on the same discharge outflow with an annual energy of 25,65 GWh so this alternative has the most optimal of potential energy.

**Key words:** discharge, head, energy, economic feasibility.

Salah satu daerah yang memiliki potensi pengembangan energi untuk pembangkitan listrik adalah bendung Lodoyo, dimana masih terdapat potensi energi air yang dapat dikembangkan untuk menambah kapasitas energi listrik.

Pemanfaatan dari bendung Lodoyo adalah untuk mengatur fluktuasi debit outflow waduk Wlingi akibat beban puncak PLTA Wlingi agar di dapat debit yang konstan dan kontinyu untuk keperluan irigasi di hilir Bendung Lodoyo dan sekaligus untuk pembangkitan tenaga listrik. (Anonim, 2003:7). Saat ini PLTA Lodoyo beroperasi dengan kapasitas terpasang sebesar 1 x 4,50MW dengan produksi energi rata-rata

tahunan sebesar 35,5 GWh, dengan debit maksimum yang dioperasikan untuk pembangkitan PLTA Lodoyo adalah sebesar 57,00 m<sup>3</sup>/det dengan tinggi jatuh 8,50 m.

Pada hasil studi sebelumnya menyebutkan bahwa debit inflow rata-rata harian di bendung Lodoyo (periode 1991-2001) adalah sebesar 110,47 m<sup>3</sup>/det, sedangkan debit pengoperasian PLTA Lodoyo hanya sebesar 57,00 m<sup>3</sup>/det, sehingga masih ada kelebihan debit yang tidak dimanfaatkan sekitar 53 m<sup>3</sup>/det (Anonim, 2002:II-25). Selama ini kelebihan debit yang tidak termanfaatkan tersebut selalu melimpas melalui pelimpah (*spillway*).

Studi ini bertujuan untuk mendapatkan nilai peningkatan kapasitas terpasang pada PLTA Lodoyo baru yang paling optimal ditinjau dari aspek teknik dan ekonomis dalam pemanfaatan potensi kelebihan debit inflow yang ada pada bendung Lodoyo.

## TINJAUAN PUSTAKA

### 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).

Debit andalan (*dependable flow*) adalah debit minimum yang kemungkinan debit terpenuhi dalam prosentase tertentu sehingga dapat dipakai untuk kebutuhan pembangkitan. Debit andalan pada umum dianalisis sebagai debit rata-rata untuk periode tertentu.

Menurut Suyono, debit andalan terbagi atas (Suyono, 1999:204):

- Debit air musim kering: debit yang dilampaui oleh debit sebanyak 355 hari dalam setahun (97%)
- Debit air rendah: debit yang dilampaui oleh debit sebanyak 275 hari dalam setahun (75%)
- Debit air normal: debit yang dilampaui oleh debit sebanyak 185 hari dalam setahun (50,6%)
- Debit air cukup cukup: debit yang dilampaui oleh debit sebanyak 95 hari dalam setahun (26%).

### Perencanaan Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Dalam suatu perencanaan dasar Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), beberapa komponen yang direncanakan diantaranya adalah:

- a. Bangunan pemasukan (*Intake*)  
Bangunan ini biasanya dilengkapi dengan pintu dan saringan (*trashrack*) guna menghindari masuknya sedimen.
- b. Pipa pesat (*Penstock*)  
Dimensi *penstock* dengan ketentuan sebagai berikut:
  - Penentuan diameter  
Berdasarkan dari persamaan Sarkaria adalah (Juwono, 1992: 26)  

$$H < 50 \text{ m: } D = 0.794 \times Q_p^{0.404}$$

$$H = 50-100\text{m: } D = 0.785 \times Q_p^{0.400}$$
 Dimana  
 $D$  = diameter *penstock*, m  
 $H$  = tinggi jatuh pada turbin, m  
 $Q_p$  = debit pada *penstock*, m<sup>3</sup>/det

- Kecepatan yang terjadi (Varshney, 1977: 404)

$$V = 0,125 \cdot \sqrt{2gH}$$

Dimana

$V$  = kecepatan yang diijinkan pada *penstock*, m/det

- Ketebalan dinding penstock  
Sesuai formula Barlow adalah sebagai berikut (Varshney, 1977: 412):

$$H \frac{0,002 \cdot t}{D \cdot 0,002 \cdot t}$$

Dimana:

$H$  = tinggi tekan maksimum, m

$s$  = tegangan baja yang digunakan, ton/m<sup>2</sup>

$t$  = tebal *penstock*, m

$D$  = diameter *penstock*, m

- Akibat pukulan air (*water hammer*)  
Untuk menentukan tekanan air akibat *water hammer* digunakan persamaan (Arismunandar, 2000: 44) sebagai berikut:

$$T = \frac{2L}{g} \cdot h, \quad \frac{1}{g} \times V_m$$

$$T = \frac{2L}{g}, \quad h = \frac{N \times H}{2} \cdot \frac{H}{2} \sqrt{(N^2 - 4N)}$$

dengan:

$T$  = waktu yang digunakan untuk menutup katup, detik

$L$  = panjang terowongan tekan dan pipa pesat, m

= kecepatan rambatan tekanan, untuk air = 1440 m/det

- c. Gedung pembangkit beserta peralatan elektro mekaniknya  
Dimensi panjang, lebar dan tinggi power house sangat tergantung pada dimensi runner, spiral casing dan draft tube serta jumlah dari turbin. Sedangkan tinggi power house tergantung dari elevasi as turbin, dimensi draft tube dan tinggi generatornya.
- d. Saluran air buritan (Tailrace)  
Adalah saluran terbuka yang dilalui oleh air yang keluar dari draft tube dan berakhir sampai ke sungai.  
*Tile Water Level (TWL)* adalah elevasi muka air dihilir, dimana tinggi dari TWL tergantung dari debit air yang keluar dari turbin, jenis penampang serta dimensi penampang saluran pembuang.

**Kehilangan Tinggi (Head Loss)**

Kehilangan tinggi tekan digunakan untuk mendapatkan tinggi efektif pasokan air yang diperlukan untuk perencanaan energi listrik. Kehilangan tinggi tekan (*head loss*) diperhitungkan sepanjang saluran pembawa (*waterway*).

Persamaan umum kehilangan tinggi tekan adalah sebagai berikut (Linsley, 2000: 307)

$$h_L = k \frac{v^2}{2g}$$

dimana:

- $h_L$  = kehilangan tinggi, m
- $k$  = koefisien kehilangan tinggi
- $v$  = kecepatan aliran, m/det
- $g$  = percepatan gravitasi, m/det

**Tinggi Jatuh Efektif (Head Effective)**

Adalah selisih antara muka air waduk (El. MAW) dengan elevasi *tail water level* (El. TWL) dikurangi dengan total kehilangan tinggi tekan (Varshney, 1977: 562) Persamaan tinggi jatuh efektif adalah:

$$H_{eff} = El. MAW - El. TWL - h_L$$

Dimana,

- $H_{eff}$  = tinggi jatuh efektif, m
- El. MAW = elevasi muka air waduk, m
- El. TWL = elevasi tail water level, m
- $h_L$  = total kehilangan tinggi tekan, m

**Turbin Air**

Di dalam turbin energi kinetik air diubah menjadi energi mekanis, dimana air memutar roda turbin. Tor-si poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik. Turbin berhubungan erat dengan generator, dimana berfungsi mengubah energi air menjadi energi listrik (M.M. Dandekar, 1991:391). Berdasarkan klasifikasi turbin, pemilihan jenis turbin ditentukan berdasarkan Gambar 1 berikut.

**Dasar Perhitungan Power Dan Energi**

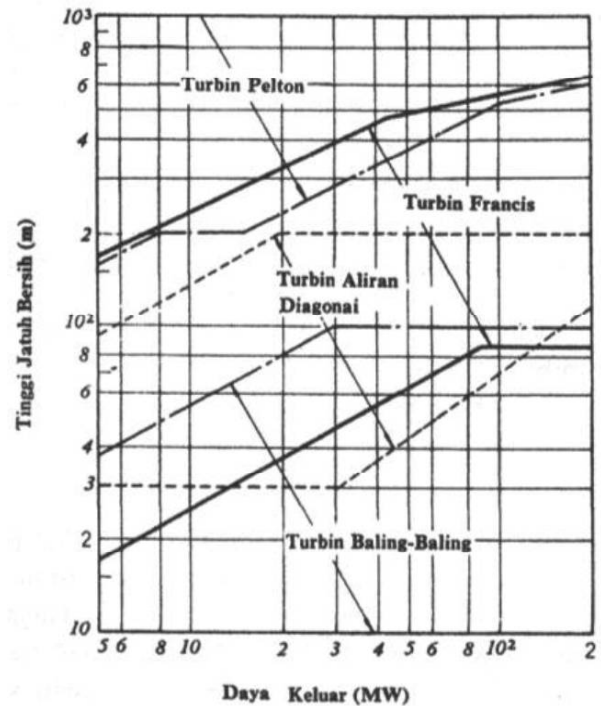
a. Perhitungan Daya

Daya merupakan energi tiap satuan waktu, besarnya daya yang dihasilkan dihitung dengan persamaan (Patty,1995:14) sebagai berikut:

$$P = 9,8 \times H_{eff} \times Q \times \eta$$

dengan:

- $P$  : Daya (kW)
- $H_{eff}$  : Tinggi jatuh efektif ( m )
- $Q$  : Debit outflow (m<sup>3</sup>/dtk)
- $\eta$  : Efisiensi turbin



**Gambar 1 Pemilihan Jenis Turbin Air (W.A. Arismunandar, 2004: 53)**

b. Energi Output

Produksi energi tahunan dihitung berdasarkan tenaga andalan. Tenaga andalan dihitung berdasarkan debit andalan yang tersedia untuk PLTA yang berupa debit outflow dengan periode n harian.

$$E = 9,8 \times H \times Q \times \eta \times 24 \times n$$

$$= P \times 24 \times n$$

dengan:

- $E$  : Energi tiap satu periode (kWH)
- $H$  : Tinggi jatuh efektif ( m )
- $Q$  : Debit outflow (m<sup>3</sup>/dtk)
- $\eta$  : efisiensi turbin
- $n$  : jumlah hari dalam satu periode.

**Analisa Kelayakan**

Dilakukan untuk mengetahui kelayakan suatu proyek dari segi ekonomi. Dalam melakukan analisa kelayakan dibutuhkan komponen utama:

- a. komponen biaya (*cost*) yaitu berupa biaya konstruksi, biaya tak terduga (*contingencies*), biaya engineering, dan biaya O & P tahunan.
- b. komponen manfaat (*benefit*), didasarkan pada tenaga listrik yang dihasilkan tiap tahun dan tarif dasar listrik yang berlaku.

### Parameter Kelayakan Ekonomi

Indikator yang sering dipakai dalam analisa ekonomi, yaitu:

- Perbandingan manfaat dan biaya (BCR)

$$BCR = \frac{\text{nilai.seka rang.(bene fit)} (PV)_B}{\text{nilai.seka rang(biaya)} (PV)_C}$$

- Selisih manfaat dan biaya (*Net Present Value*)  
NPV = PV Benefit – PV Cost
- Tingkat pengembalian internal (*Internal Rate of Return*)

$$IRR = I' \frac{NPV'}{NPV' - NPV''} I'' I'$$

### Analisa Sensitivitas

Keadaan yang ditinjau dalam analisa sensitivitas adalah sebagai berikut:

- Kondisi Normal
- Terjadi kenaikan 10%–20% pada biaya proyek yang diperkirakan.
- Terjadi penurunan 10%–20 % pada nilai manfaat yang diperkirakan.

Dari hasil analisa sensitivitas terhadap beberapa keadaan tersebut maka dapat diketahui elemen proyek yang paling sensitif terhadap keberhasilan proyek.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Lokasi studi

Bendung Lodoyo terletak di aliran Sungai Brantas, sekitar ± 7 km hilir bendungan Wlingi dan berada di desa Gogodeso, Kecamatan Kanigoro, Kabupaten Blitar, Propinsi Jawa Timur.

### Tahapan Penyelesaian Studi

- Analisis debit andalan
  - Dilakukan dengan pendekatan analisis peluang dengan Metode *Flow Duration Curve*
- Perencanaan dasar dari masing-masing alternatif desain pembangkit listrik (PLTA) yang terdiri dari:
  - Penentuan alternatif lokasi yaitu Alternatif 1 disebelah kiri bendung Lodoyo dan Alternatif 2 disebelah kanan bendung Lodoyo.
  - Perencanaan dasar pipa pesat (*penstock*), yaitu diameter dan tebal dari pipa pesat.
  - Analisis tinggi jatuh efektif (*Heff*) dimana faktor kehilangan telah diperhitungkan.
  - Penentuan jenis turbin dan generator yang sesuai
  - Tail Water Level* (TWL)

- Analisa daya dan energi yang mampu dibangkitkan.

- Analisis Kelayakan Ekonomi dari masing-masing alternatif perencanaan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisa Debit Tambahan untuk PLTA Lodoyo

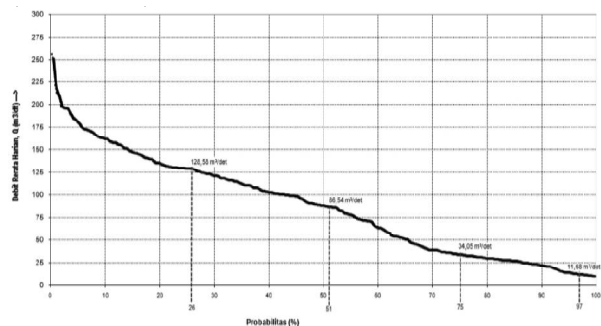
Data *outflow* bendung yang dimanfaatkan untuk debit pembangkitan penambahan kapasitas adalah besarnya sisa debit yang keluar dari bendung Lodoyo setelah dikurangi untuk pemakaian PLTA Lodoyo. Sehingga debit *outflow* bendung yang digunakan adalah berupa debit harian keluaran dari *spillway* (bendung Lodoyo).

Kurva debit aliran debit *outflow* rerata harian bendung Lodoyo tahun 2004–2011 dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan rekapitulasi probabilitas debit *outflow* rerata harian sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Debit Andalan Bendung Lodoyo

Probabilitas (%)	Debit Andalan (m <sup>3</sup> /det)	Keterangan
0.0	266.73	<b>Debit air m.kering</b>
10.0	161.89	
<b>26.0</b>	<b>128.58</b>	
30.0	121.06	
40.0	102.80	
<b>51.0</b>	<b>86.54</b>	<b>Debit air rendah</b>
60.0	63.90	<b>Debit air normal</b>
<b>75.0</b>	<b>34.05</b>	
80.0	29.86	
90.0	21.76	<b>Debit air cukup</b>
<b>97.0</b>	<b>11.68</b>	
100.0	9.08	

Sumber: analisa perhitungan



Gambar 2. Kurva Debit Andalan (2004–2011)

Elavasi muka air waduk yang dijadikan parameter penentuan tinggi jatuh pembangkitan adalah:

No	Debit Rencana Pembangkitan (m <sup>3</sup> /det)	Elevasi MAW (m)
1	128.58	+135.80
2	86.54	+135.68
3	34.05	+135.59
4	11.68	+130.17

**Optimasi Perencanaan Dasar PLTA Lodoyo Baru Alternatif 1**

Alternatif 1 pengembangan PLTA Lodoyo baru berada disebelah kiri sungai atau berseberangan dengan PLTA Lodoyo eksisting sebagaimana Gambar 3.

Hasil perencanaan dasar dari alternatif 1 PLTA Lodoyo baru adalah sebagai berikut:

a. Penstock

Debit rencana	Diameter (D)	t pakai (t <sub>pakai</sub> )	Kontrol tekanan	
m <sup>3</sup> /det	m	mm	H/D	
128.58	5.7	7.5	1.862	pressure
86.54	4.9	7.5	2.180	pressure
34.05	3.4	7.5	3.115	pressure
11.68	2.2	7.5	2.350	pressure

Sumber: hasil perhitungan

b. Kehilangan tinggi

Akibat intake, besar kehilangan tinggi adalah:

Q m <sup>3</sup> /det	Koefisien Kehilangan Tinggi				total K <sub>int</sub>	Head Loss (m)
	Entrance (Ke)	Trash-rack	Pintu	Friksi		
128.58	0.25	0.888	0.563	0.022	1.72	0.167
86.54	0.25	0.888	0.563	0.032	1.73	0.171
34.05	0.25	0.888	0.563	0.066	1.77	0.108
11.68	0.25	0.888	0.563	0.066	1.77	0.013

Sumber: hasil perhitungan

Akibat penstock, besar kehilangan tinggi adalah:

Q m <sup>3</sup> /det	Dia-meter m	Koef. kehilangan tinggi			total K <sub>penst</sub>	Head Loss (m)
		Bend (Kb)	Friksi (Kf)	Katup (Kk)		
128.58	5.75	0.568	0.091	0.200	0.859	2.190
86.54	4.90	0.405	0.113	0.200	0.718	1.655
34.05	3.40	0.248	0.184	0.200	0.632	1.018
11.68	2.20	0.200	0.329	0.200	0.729	0.779

Sumber: hasil perhitungan

c. Tinggi Jatuh Efektif

Parameter yang berpengaruh pada nilai tinggi jatuh efektif adalah elevasi muka air di intake dan kehilangan tinggi tekan serta TWL (*tail water level*).

Q m <sup>3</sup> /det	El. MAW m	TWL m	hf <sub>total</sub> m	H <sub>eff.</sub> m
128.58	135.80	123.951	2.356	9.492
86.54	135.68	123.449	1.826	10.406
34.05	135.59	122.732	1.126	11.732
11.68	130.17	122.337	0.792	7.041

Sumber: hasil perhitungan

d. Jenis turbin yang digunakan adalah tipe kaplan

e. Daya pembangkitan dan energi tahunan

Debit, Q (m <sup>3</sup> /det)	H <sub>eff</sub> (m)	Kapasitas Terpasang, P (MW)	Energi Tahunan, AE (MWh)
128,58	9,492	9,700	52,133.28
86,54	10,406	7,200	45,998.65
34,05	11,732	3,200	25,584.47
11,68	7,041	0,700	5,721.36

f. Analisa Kelayakan

Estimasi biaya modal meliputi biaya langsung (biaya konstruksi intake, pipa pesat (*penstock*), rumah pembangkit (*power house*), *tailrace* dan hidromekanikal serta berupa biaya tak langsung (*contingencies* dan biaya *engineering*). Sedangkan untuk biaya OP diasumsikan sebesar 1% dari biaya investasi.

Dalam studi ini nilai manfaat diambil harga jual listrik sebesar Rp.656,-/ kWh dengan asumsi usia guna PLTA Lodoyo baru direncanakan 20 tahun.

Secara garis besar analisa kelayakan pada alternatif 1 PLTA Lodoyo baru dapat dilihat pada Tabel 2.

**Optimasi Perencanaan Dasar PLTA Lodoyo Baru Alternatif 2**

Alternatif 2 pengembangan PLTA Lodoyo baru berada disebelah kanan sungai atau bersebelahan dengan PLTA Lodoyo eksisting sebagaimana Gambar 4.

Hasil perencanaan dasar dari alternatif 2 PLTA Lodoyo baru adalah sebagai berikut:

a. Penstock

Debit rencana	Diame-ter (D)	t pakai (t <sub>pakai</sub> )	Kontrol tekanan	
m <sup>3</sup> /det	m	mm	H/D	
128.58	5.7	7.5	1.878	pressure
86.54	4.9	7.5	2.180	pressure
34.05	3.4	7.5	3.115	pressure
11.68	2.2	7.5	2.350	pressure

Sumber: hasil perhitungan

Tabel 2. Analisa Kelayakan Ekonomi Alternatif 1 PLTA Lodoyo baru

Debit Rencana (%)		<b>26</b>	<b>51</b>	<b>75</b>	<b>97</b>
Debit, Q (m <sup>3</sup> /det)		128.58	86.54	34.05	11.68
Daya Terpasang, P (kW)		9,700.00	7,200.00	3,200.00	700.00
Energi Tahunan, AE (MWh)		52,133.28	45,998.65	25,584.47	5,721.36
<b>TOTAL BIAYA (COST)</b>					
Biaya Modal (Rp., juta)		319,963,8	226,288,5	101,145,6	34,497,9
Biaya O & P (Rp., juta)		3,199,6	2,262,8	1,011,4	344,98
Total Biaya, C (Rp., juta)		323,163,4	228,551,4	102,157,1	34,842,9
<b>TOTAL MANFAAT (BENEFIT)</b>					
Manfaat, B (Rp., juta/thn)		34,199,4	30,175,1	16,783,4	3,753,2
<b>ANALISA KELAYAKAN</b>					
<b>B/C RATIO</b>					
Suku bunga	8%	0.891	1.111	1.383	0.907
	10%	0.768	0.958	1.192	0.782
	<b>12%</b>	0.668	0.834	<b>1.037</b>	0.680
	14%	0.587	0.732	0.911	0.597
<b>NPV (Rp., juta)</b>					
Suku bunga	8%	(41,204,9)	29,650,6	45,611,7	(3,795,7)
	10%	(88,027,9)	(11,272,7)	23,022,1	(8,930,0)
	12%	(126,822)	(44,966,7)	4,517,5	(13,181,6)
	14%	(159,447)	(73,106,2)	(10,848,4)	(16,754,9)
<b>IRR</b>		6.22%	9.32%	12.59%	5.69%
<b>ANALISA SENSITIVITAS (12%)</b>					
<b>Analisa BCR</b>					
Normal		0.668	0.834	1.037	0.680
Biaya mengalami kenaikan 10%		0.607	0.758	0.943	0.618
Biaya mengalami kenaikan 20%		0.557	0.695	0.864	0.567
Manfaat mengalami penurunan 10%		0.601	0.750	0.934	0.612
Manfaat mengalami penurunan 20%		0.535	0.667	0.830	0.544

## b. Kehilangan tinggi

Akibat *intake*, besar kehilangan tinggi adalah:

Q m <sup>3</sup> /det	Koefisien Kehilangan Tinggi				total K <sub>int</sub>	Head Loss (m)
	Entrance (Ke)	Trash-rack	Pintu	Friksi		
128.58	0.25	0.888	0.563	0.023	1.72	0.167
86.54	0.25	0.888	0.563	0.034	1.73	0.171
34.05	0.25	0.888	0.563	0.070	1.77	0.108
11.68	0.25	0.888	0.563	0.070	1.77	0.013

Sumber: hasil perhitungan

Akibat *penstock*, besar kehilangan tinggi adalah:

Q m <sup>3</sup> /det	Dia- meter m	Koef. kehilangan tinggi			total K <sub>penst</sub>	Head Loss (m)
		Bend (Kb)	Friksi (Kf)	Katup (Kk)		
128.58	5.70	0.650	0.076	0.200	0.940	2.396
86.54	4.90	0.459	0.094	0.200	0.753	1.736
34.05	3.40	0.262	0.153	0.200	0.614	0.990
11.68	2.20	0.200	0.273	0.200	0.675	0.721

Sumber: hasil perhitungan

## c. Tinggi Jatuh Efektif

Parameter yang berpengaruh pada nilai tinggi jatuh efektif adalah elevasi muka air di intake dan kehilangan tinggi tekan serta TWL (*tail water level*).

Q m <sup>3</sup> /det	El. MAW m	TWL m	hf <sub>total</sub> m	H <sub>eff.</sub> m
128.58	135.80	123.949	2.563	9.288
86.54	135.68	123.448	1.907	10.325
34.05	135.59	122.732	1.098	11.760
11.68	130.17	122.337	0.734	7.100

Sumber: hasil perhitungan

## d. Jenis turbin yang digunakan adalah tipe kaplan

## e. Daya pembangkitan dan energi tahunan

Debit, Q (m <sup>3</sup> /det)	H <sub>eff</sub> (m)	Kapasitas Terpasang, P (MW)	Energi Tahunan, AE (MWh)
128,58	9.288	9.700	51,010.63
86,54	10.325	7.200	45,644.87
34,05	11.760	3.200	25,646.47
11,68	7.100	0.700	5,768.80

Sumber: hasil perhitungan

## f. Analisa Kelayakan

Estimasi biaya modal pada alternatif 2 juga meliputi biaya langsung (biaya konstruksi intake, pipa pesat (penstock), rumah pembangkit (power house), tailrace dan hidromekanikal serta berupa biaya tak langsung (contingencies dan biaya engineering). Sedangkan untuk biaya OP diasumsikan sebesar 1% dari biaya investasi.

Untuk nilai manfaat pada alternatif 2 ini juga berdasar harga jual listrik sebesar Rp.656,-/ kWh dengan asumsi usia guna PLTA Lodoyo baru direncanakan 20 tahun.

Secara garis besar analisa kelayakan pada alternatif 2 PLTA Lodoyo baru dapat dilihat pada Tabel 3.

### Hasil Optimasi Perencanaan Dasar PLTA Lodoyo Baru

Dari hasil analisa, didapat alternatif yang terbaik dari segi ekonomis adalah Alternatif I pada debit andalan 75% dengan debit bangkitan sebesar 34,05 m<sup>3</sup>/det dan daya yang terpasang (*capacity install*) ada-

lah sebesar 3.200 kW. Sehingga data teknis perencanaan PLTA Lodoyo baru yang paling optimum adalah sebagai berikut:

Debit pembangkitan	= 34,05 m <sup>3</sup> /det
Diameter penstock	= 3,40 m
Tebal pipa penstock	= 7,5 mm
Kehilangan tinggi MAW	= 1,098 m
TWL	= El.+135,59 m
Tinggi jatuh efektif	= El.+122,73 m
Jenis Turbin	= Kaplan
Kapasitas terpasang (P)	= 3,200 MW
Energi tahunan (AE)	= 25.646 MWh

### KESIMPULAN DAN SARAN

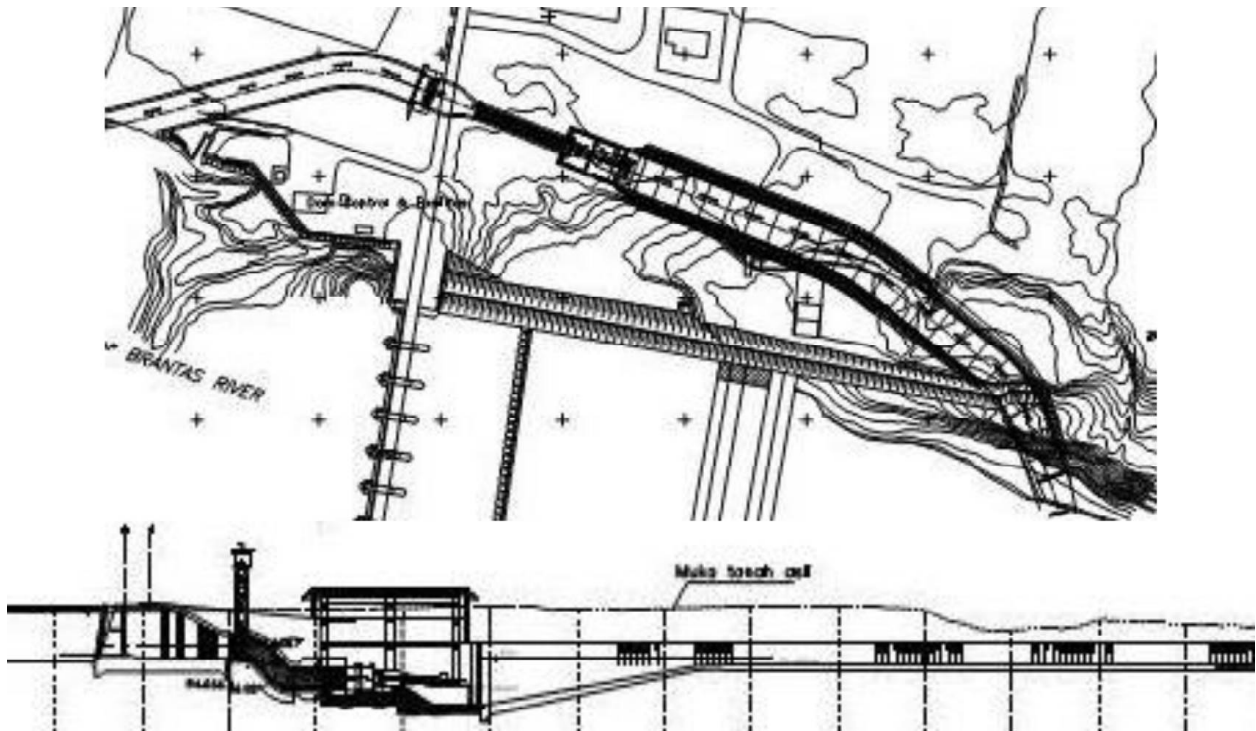
#### Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil analisa pada bab sebelumnya, maka beberapa hal yang dapat disimpulkan adalah:

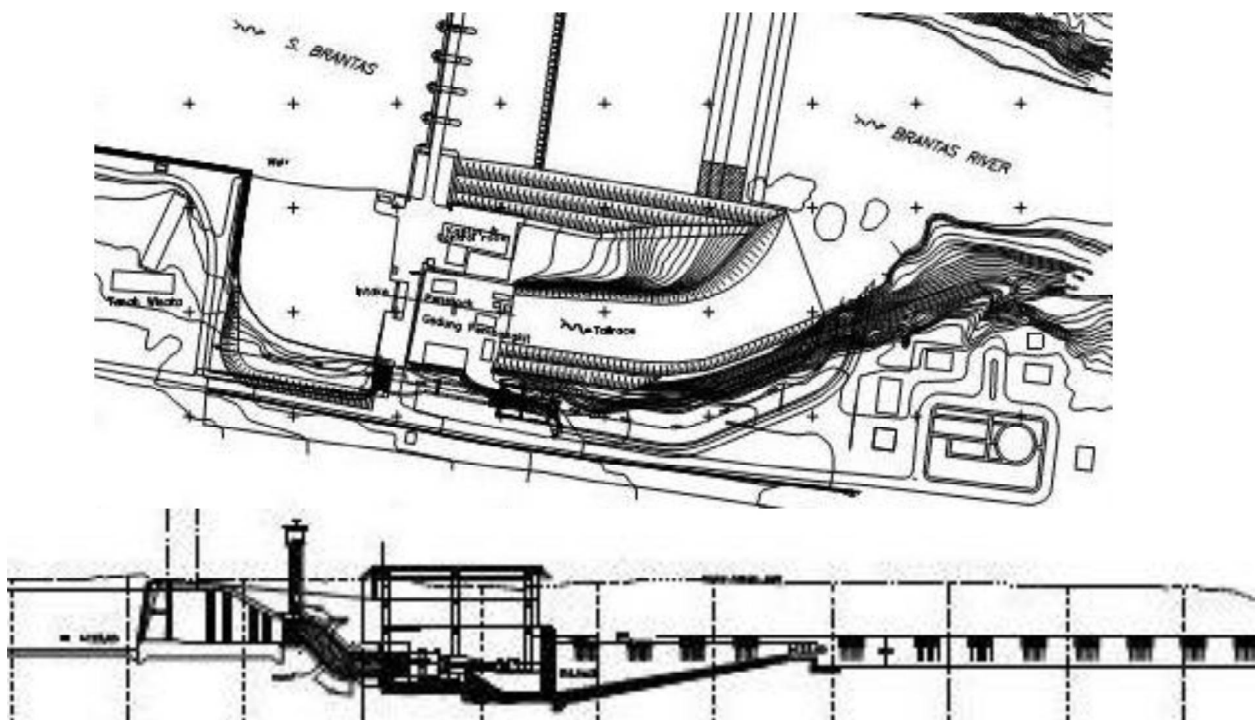
1. Alternatif debit andalan yang dipergunakan dalam analisa pembangkitan adalah debit air musim

Tabel 3. Analisa Kelayakan Ekonomi Alternatif 2 PLTA Lodoyo baru

Debit Rencana (%)		26	51	75	97
Debit , Q (m <sup>3</sup> /det)		128.58	86.54	34.05	11.68
Daya Terpasang, P (kW)		9,700.00	7,200.00	3,200.00	700.00
Energi Tahunan, AE (MWh)		51,010.635	45,644.87	25,646.47	5,768.80
<b>TOTAL BIAYA (COST)</b>					
Biaya Modal (Rp., juta)		311,818,7	219,667,6	97,733,3	30,546,3
Biaya O & P (Rp., juta)		3,118,1	2,196,6	977,3	305,4
Total Biaya, C (Rp., juta)		314,936,9	221,864,3	98,710,6	30,851,7
<b>TOTAL MANFAAT (BENEFIT)</b>					
Manfaat, B (Rp., juta/thn)		33,462,9	29,943,0	16,824,0	3,784,3
<b>ANALISA EKONOMI</b>					
<b>B/C RATIO</b>					
Suku bunga	8%	0.894	1.136	1.434	1.032
	10%	0.771	0.979	1.237	0.890
	12%	0.671	0.852	1.076	0.775
	14%	0.589	0.748	0.945	0.680
<b>NPV (Rp., juta)</b>					
Suku bunga	8%	(38,839,1)	35,172,6	50,031,4	1,165,4
	10%	(84,645,1)	(5,401,9)	27,412,5	(3,981,8)
	12%	(122,591)	(38,790,2)	8,898,0	(8,228,2)
	14%	(154,499)	(66,657,0)	(6,462,9)	(11,782,2)
<b>IRR</b>					
		6.29%	9.67%	13.16%	8.10%
<b>ANALISA SENSITIVITAS (12%)</b>					
<b>Analisa BCR</b>					
Normal		0.671	0.852	1.076	0.775
Biaya mengalami kenaikan 10%		0.613	0.779	0.984	0.708
Biaya mengalami kenaikan 20%		0.565	0.718	0.906	0.652
Manfaat mengalami penurunan 10%		0.604	0.767	0.969	0.697
Manfaat mengalami penurunan 20%		0.537	0.682	0.861	0.620



Gambar 3. Alternatif 1 PLTA Lodoyo baru



Gambar 4. Alternatif 2 PLTA Lodoyo baru

- kering ( $Q_{2.6\%}$ ) sebesar  $128,58 \text{ m}^3/\text{det}$ , debit air rendah ( $Q_{5.1\%}$ ) sebesar  $86,54 \text{ m}^3/\text{det}$ , debit air normal ( $Q_{7.5\%}$ ) sebesar  $34,50 \text{ m}^3/\text{det}$  dan debit air cukup ( $Q_{9.7\%}$ ) sebesar  $11,68 \text{ m}^3/\text{det}$ .
2. Dari hasil kajian pemanfaatan kelebihan debit pada bendung Lodoyo didapatkan hasil sebagai berikut:

- a. Alternatif 1  
Lokasi pengembangan PLTA Lodoyo baru alternatif 1 berada disebelah kiri sungai dimana *intake* direncanakan tidak terlalu jauh dengan powerhouse sehingga tidak diperlukan penstock yang terlalu panjang.



Hasil analisa potensi daya dan energi yang dihasilkan berdasarkan perencanaan teknis dan tinggi jatuh efektif adalah pipa penstock direncanakan berdiameter antara 2,2–5,75 meter tergantung besar debit pembangkit dengan ketebalan pipa 7,5 mm, dimana diperhitungkan juga terhadap tekanan akibat hantaman air. Kehilangan tinggi yang dihasilkan berkisar antara 0,79 - 2,36 meter. Potensi energi tahunan yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

- Tinggi jatuh efektif antara 7,041-11,732 m
- Kapasitas terpasang antara 0,70 - 9,70 MW
- Energi tahunan yang dihasilkan antara 5,72 - 52,13 GWh

b. Alternatif 2

Lokasi alternatif 2 direncanakan berada di kanan sungai berdekatan dengan gedung pembangkit eksisting dengan mengkondisikan perencanaan yang hampir sama dengan alternatif 1.

Hasil analisa perencanaan didapatkan besaran pipa penstock dengan diameter dan ketebalan yang sama sebagaimana alternatif 1, dihasilkan kehilangan tinggi berkisar 0,734 – 2,563 meter.

Potensi energi tahunan yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

- Tinggi jatuh efektif antara 7,100–11,76m
- Kapasitas terpasang antara 0,70-9,70 MW
- Energi tahunan yang dihasilkan antara 5,77–51,01 GWh

3. Parameter yang dipergunakan dalam analisa kelayakan ekonomi pada studi ini adalah BCR, NPV dan IRR, diperoleh hasil sebagai berikut:

a. Alternatif 1

- Debit yang menghasilkan BCR paling tinggi adalah debit andalan 75% dengan debit rencana pembangkitan sebesar 34,05 m<sup>3</sup>/dtk, dengan kapasitas terpasang sebesar 3,20 MW yang menghasilkan energi tahunan sebesar 25,58 GWh.
- Biaya modal untuk debit optimal adalah sebesar Rp. 101,15 milyar, dengan biaya O & P Rp. 1,01 milyar/tahun.
- Nilai manfaat yang diperoleh pada kondisi debit optimal adalah sebesar Rp. 16,78 milyar/tahun.

- Analisa kelayakan pada debit optimal pada suku bunga 12% adalah nilai B/C Ratio sebesar 1,037 dengan nilai NPV sebesar Rp. 45,61 milyar dan IRR sebesar 12,59%

b. Alternatif 2

- Debit yang menghasilkan BCR paling tinggi adalah debit andalan 75% dengan debit rencana pembangkitan sebesar 34,05 m<sup>3</sup>/dtk, dengan kapasitas terpasang sebesar 3,20 MW yang menghasilkan energi tahunan sebesar 25,65 GWh.
- Biaya modal untuk debit optimal diatas adalah sebesar Rp. 97,73 milyar, dengan biaya O & P Rp. 0,977 milyar/tahun.
- Nilai manfaat yang diperoleh pada kondisi debit optimal adalah sebesar Rp. 16,82 milyar/tahun.
- Analisa kelayakan pada debit optimal pada suku bunga 12% adalah nilai B/C Ratio sebesar 1,076 dengan nilai NPV sebesar Rp. 50,03 milyar dan IRR sebesar 13,16%

Dari hasil analisa, didapat alternatif terbaik dari segi ekonomis adalah alternatif II pada debit andalan 75% ( $Q_{75\%}$ ) yang memiliki debit bangkitan sebesar 34,05 m<sup>3</sup>/det dan menghasilkan daya yang terpasang (*capacity install*) sebesar 3.200 kW (3,5 MW) dan energi tahunan 25,65 GWh.

### Saran

Berdasarkan uraian pembahasan, disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pada studi ini debit pembangkit untuk PLTA Lodayo baru hanya berdasarkan pada 4 kondisi debit, untuk lebih mendapatkan hasil debit yang lebih optimal sebaiknya diuji juga untuk probabilitas debit andalan yang lain.
2. Untuk mendapatkan diameter penstock yang paling optimal, disarankan untuk dicoba terhadap beberapa diameter untuk debit yang sama, sehingga akan didapatkan nilai konstruksi yang benar-benar optimal.
3. Analisa biaya konstruksi dalam studi ini berupa perkiraan kasar terhadap volume dan harga satuan, sehingga untuk mendapatkan hasil yang lebih detail sebaiknya disesuaikan dengan kondisi perencanaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Arismunandar., S. Kuwahara. 2000. *Teknik Tenaga Listrik jilid 1*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Anonim. 2002. *Studi Kelayakan Proyek PLTA Lodoyo-2*. Jakarta: PT. PJB
- Anonim. 2003. *Manual Operasi dan Pemeliharaan Bendung Lodoyo*. Malang: Perum Jasa Tirta I.
- Dandekar, MM., dan Sharma, KN. 1991. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- Juwono, P.T. 1992. *Kajian Kemungkinan Dibangunnya Pusat Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) pada Waduk Banjarejo Jawa Tengah*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Kodatie, R.J. 1995. *Analisa Ekonomi Teknik*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Linsley, R.K., dan Franzini, J.B. 1989. *Teknik Sumber Daya Air Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Patty, OF. 1995. *Tenaga Air*. Jakarta: Erlangga.
- Soemarto, C.D. 1986. *Hidrologi*. Jakarta: Erlangga.
- Sosrodarsono, S. 1999. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pertja.
- Varshney, R.S. 1977. *Hydro-Power Structure*. India: N.C Jain at the Roorkee Press.