

# KAJIAN PENINGKATAN MANFAAT PADA BENDUNGAN TUGU KABUPATEN TRENGGALEK

Mey Wahyuningdyah<sup>1</sup>, Pitojo Tri Juwono<sup>2</sup>, Rispiningtati<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:** Pada mulanya bendungan Tugu direncanakan untuk memenuhi kebutuhan air baku dan air irigasi. Dalam studi ini akan dikaji mengenai besar daya listrik yang dapat dibangkitkan dari pemanfaatan debit outflow waduk dan penambahan nilai manfaat apabila Bendungan Tugu dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dan tempat pariwisata.

Pembangkit listrik pada bendungan Tugu direncanakan berdasarkan beban dasar. Pembangkit direncanakan menggunakan turbin Francis dengan daya terpasang yang optimum adalah 400 kW, yang mampu menghasilkan energi 2.140.382,328 kWh/tahun. Perencanaan kawasan wisata Bendungan Tugu menggunakan lahan seluas 9,86 Ha dengan rencana pembangunan penginapan (cottage), wisata air dan playground, kolam renang, restoran dan toko/wisata belanja.

Berdasarkan analisa ekonomi yang dilakukan, terjadi peningkatan nilai BCR, NPV dan IRR. Nilai BCR yang semula sebesar 1,115 berubah menjadi 1,142; NPV yang semula sebesar Rp. 36.705.066.329,00 berubah menjadi Rp.53.164.296.082,00; IRR yang semula 13,057% berubah menjadi 13,408%.

**Kata kunci:** pembangkit listrik, pariwisata, analisa ekonomi.

**Abstract:** At the beginning Tugu dam was planned to supply water demand and irrigation water. In this study will be reviewed on a large electric power can be generated from the utilization of the reservoir outflow discharge and increase the value of benefits when Tugu dam is used as power plant and tourism places.

Power generation at Tugu dam is planned in base load. Francis turbine is selected with optimum installed power is 400 kW, which capability of producing energy is 2,140,382.328 kWh / year. Tugu dam tourism region plans to use the land area of 9.86 hectares with cottage, water and tourist playground, swimming pool, restaurant and shop / shopping tour.

Based on economic analysis conducted, can increase in the value of BCR, NPV and IRR. BCR value of 1.115 which was originally changed to 1.142; the original NPV of Rp. 36,705,066,329.00 turned into Rp.53.154.809.819,00; the original IRR 13.057% turn into 13.408%.

**Key words:** power generation, tourism, economic analysis.

Untuk memenuhi suplai kebutuhan air baku dan irigasi, saat ini telah dilakukan perencanaan Bendungan Tugu. Rencana lokasi Bendungan Tugu terletak di Sungai Keser yang merupakan salah satu anak sungai di basin Sungai Ngrowo yang secara administratif masuk dalam wilayah Desa Nglingsis, Kecamatan Tugu, Kabupaten Trenggalek Propinsi Jawa Timur. Secara geografis terletak pada koordinat 111° 35'07" Bujur Timur dan 08°02'27" Lintang Selatan. Luas daerah aliran sungai di lokasi bendungan adalah sebesar 43.06 km<sup>2</sup> dengan panjang sungai 9,295 km. Rencana lokasi Bendungan Tugu terletak di pinggir kiri ruas jalan Trenggalek – Ponorogo pada km ±15,00.

## RUMUSAN MASALAH

1. Berapa besar daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit listrik tersebut?
2. Apakah dengan penambahan fungsi bendungan sebagai pembangkit listrik dan tempat pariwisata akan memberikan nilai manfaat yang lebih baik serta berapa besar penambahannya?

## TUJUAN PENELITIAN

1. Menghitung besar daya yang dapat dibangkitkan apabila Bendungan Tugu jika dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik.
2. Untuk mengetahui apakah penambahan fungsi Bendungan Tugu sebagai pembangkit listrik dan

tempat pariwisata akan memberikan nilai kelayakan ekonomi yang lebih baik, serta menghitung berapa besar penambahan tersebut.

**TINJAUAN PUSTAKA**

1. Pembangkit Listrik

Kehilangan Tinggi Tekan

Rumus umum kehilangan tinggi tekan (Linsley, 1985:307):

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

Dimana:

- hl = jumlah kehilangan tinggi (m)
- k = nilai koefisien kehilangan tinggi
- v = kecepatan aliran (m/dt)
- g = percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

- Kehilangan tinggi tekan akibat saringan (*trash-rack*), dihitung dengan rumus sebagai berikut (Layman's, 1998:36):

$$h_s = C \sin^2 \alpha \left( \frac{t}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \frac{v^2}{2g}$$

Dimana:

- hs = kehilangan tinggi akibat saringan
- = koefisien penampang lintang kawat
- = 1,8 (untuk penampang kepala bulat)
- = 2,4 (untuk penampang kepala siku)
- = sudut kemiringan saringan (°)
- t = tebal dari batang saringan
- b = jarak antara batang-batang saringan
- v = kecepatan aliran di depan saringan (m/dt)

- Kehilangan tinggi tekan akibat pemasukan (*entrance losses*), dihitung dengan rumus (Dake, 1985:77):

$$h_p = \frac{1}{c^2} \left( 1 - C \right) \frac{v^2}{2g}$$

Dimana:

- hp = kehilangan tinggi akibat pemasukan (m)
- C = koefisien kecepatan (0,95-1,00)
- v = kecepatan aliran (m/dt)
- g = percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

- Kehilangan tinggi tekan akibat belokan

**Tabel 1. Koefisien kehilangan tinggi tekan akibat belokan**

Jari-jari Belokan Garis Tengah	Sudut Belokan		
	90°	45°	22,45°
1	0,5	0,37	0,25
2	0,3	0,22	0,15
4	0,25	0,19	0,12
6	0,15	0,11	0,08
8	0,15	0,11	0,08

Sumber: Linsley, 1985:311

- Kehilangan tinggi tekan akibat pintu pengatur. Koefisien kehilangan tinggi tekan pada pintu pengatur adalah (Dandekar dan Sharma, 1991:351):

$$k_c = \frac{1}{c^2} - 1$$

Dimana:

- c = koefisien pengaliran
- = 0,78-0,8

- Kehilangan tinggi tekan akibat mulut pipa dari waduk. Koefisien kehilangan tinggi tekan karena faktor mulut pipa dengan tepi siku-siku adalah (Linsley, 1985:311):

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

k = 0,5

- Kehilangan tinggi tekan akibat penyempitan. Koefisien kehilangan tinggi tekan pada penyempitan tergantung pada perbandingan diameter antara pipa yang satu dengan yang lain.

**Tabel 2 Harga koefisien kehilangan berdasarkan perbandingan diameter**

D2/D1	k
0	0,50
0,40	0,40
0,60	0,30

Sumber : Linsley, 1985:311

- Kehilangan tinggi tekan akibat katup pintu terbuka. Koefisien kehilangan tinggi tekan untuk (Linsley, 1985:311):
- k = 0,20

- Kehilangan tinggi tekan akibat gesekan/kekasaran pipa  
Koefisien kehilangan tinggi tekan karena faktor kekasaran pipa adalah (Varshney, 1977:353):

$$k_s = \frac{L}{D}$$

Dimana:

- L = Panjang pipa (m)
- D = diameter pipa (m)
- = faktor gesekan, yang harganya tergantung jenis aliran

Harga untuk aliran laminar adalah (Webber, 1971:82):

$$\frac{64}{R}$$

Sedangkan harga untuk aliran turbulen adalah berbeda-beda menurut kekasaran pipa. Berdasarkan Karman-Prandal (Webber, 1971:109):

- a. untuk pipa dengan kekasaran halus

$$-0,5 \log \frac{R}{k}$$

- b. untuk pipa dengan kekasaran kasar

$$-0,5 \log \frac{37.D}{k}$$

Sedangkan untuk pipa dengan kekasaran transisi, berdasarkan Celebrook-White adalah (Webber, 1971:109):

$$-0,5 \log \frac{k}{3,7.D} \frac{2,51}{R^{0,5}}$$

Dimana:

- R = bilangan Reynold
- D = diameter pipa (m)
- k = koefisien kekasaran bahan pipa

Bilangan Reynold untuk masing-masing tipe aliran adalah (Webber, 1971:109):

- aliran laminar:

$$R = \frac{DV}{\mu} < 2000$$

- aliran turbulen:

$$R = \frac{DV}{\mu} > 4000$$

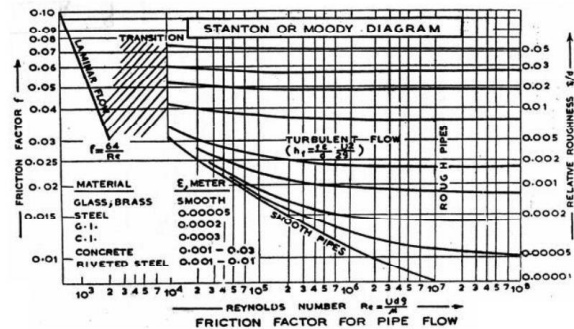
Perhitungan kehilangan tinggi tekan akibat gesekan/kekasaran untuk penampang yang bukan lingkaran adalah (Bambang Triatmojo, 1995:55):

$$h_{fi} = f \frac{L}{4R} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$Re = \frac{V4R}{\mu}$$

Dimana:

- f = koefisien gesekan, ditentukan berdasarkan angka Reynold dan kekasaran relatif k/(4R) dari grafik Moody seperti Gambar 1.
- L = panjang terowongan tekan (m)
- k = kekasaran terowongan tekan beton = 0,003
- R = jari-jari hidrolis



Gambar 1 Grafik Moody

Tinggi Jatuh Efektif ( $H_{eff}$ )

Persamaan tinggi jatuh efektif adalah sebagai berikut (Linsley, 1985:162):

$$H_{eff} = E_{MAW} - TWL - h_l$$

Dimana:

- $H_{eff}$  = Tinggi jatuh efektif (m)
- $E_{MAW}$  = Elevasi muka air waduk (m)
- TWL = Tail Water Level/elevasi muka air di saluran bawah (m)
- $h_l$  = Total kehilangan tinggi tekan (m)

Pipa Pesat (*Penstock*)

Diameter ekonomis pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan (Anonymous, 1987:162):

$$D = \frac{Q}{0,785 \times V}$$

Dimana:

- D = diameter pipa pesat (m)
- Q = debit ( $m^3/det$ )
- V = kecepatan rata-rata (m) berdasarkan Tabel 3

**Tabel 3 Kecepatan Rata-rata dalam Pipa Berdasarkan Tinggi Jatuh Untuk Penentuan Diameter *Penstock***

Head (m)	Kecepatan Rata-rata dalam pipa (m/det)
7 > H > 3	V < 1
15 > H > 7	V > 1
30 > H > 15	V < 2
100 > H > 30	V < 3
200 > H > 100	V < 4

Sumber: Anonimous, 1987:162

Perhitungan tebal pipa dapat menggunakan *Barlow's formulae* (Varshney, 1977:412):

$$H = \frac{0,002 (xt)}{D (0,02xt)}$$

Dimana:

- H = tinggi tekan maksimum (m)
- = tegangan baja yang digunakan (ton/m<sup>2</sup>)
- D = diameter pipa pesat (m)
- t = tebal pipa pesat (m)

**Turbin Air**

Dalam studi ini penentuan tipe turbin didasarkan pada besarnya tinggi jatuh dan debit rata-rata yang tersedia.

**Tabel 4. Penentuan tipe turbin berdasarkan tinggi jatuh**

Tinggi Jatuh (m)	Tipe Turbin
< 5	Pelton
5 - 200	Francis
> 200	Kaplan

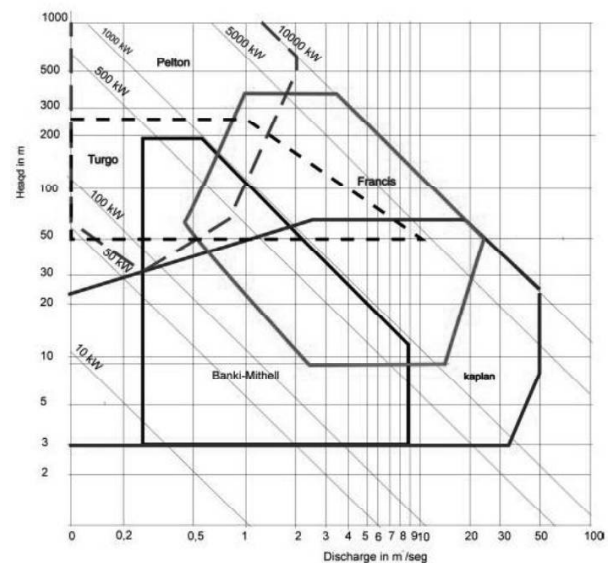
Sumber: Arismunandar, 1982:56

**Tabel 6. Penentuan tipe turbin berdasarkan kecepatan spesifik (Ns)**

Kecepatan Jenis (rpm)	Tipe Turbin
10 - 40	Pelton
40 - 550	Francis
550 - 1050	Kaplan

Sumber: Arismunandar, 1982:55

Selain berdasarkan klasifikasi tersebut, pemilihan jenis turbin juga bisa ditentukan berdasarkan diagram seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2 Diagram Aplikasi Berbagai Jenis Turbin (Head Vs Debit)**

**Generator**

Generator listrik merupakan alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator memiliki dua bagian yaitu *rator* dan *stator*.

Besarnya daya nyata dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Daya nyata (kW)} = \text{Daya semu (kVA)} \times \text{faktor daya}$$

**Perhitungan Daya dan Energi**

Daya merupakan energi tiap satuan waktu, besar daya yang dihasilkan dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Arismunandar, 2000:19):

1. Daya teoritis  
 $P_{\text{teoritis}} = 9,8 \times Q \times H$
2. Daya turbin  
 $P_{\text{turbin}} = 9,8 \times \eta_T \times Q \times H$
3. Daya yang dibangkitkan generator  
 $P_{\text{generator}} = 9,8 \times \eta_T \times \eta_G \times Q \times H$

Dimana:

- Q = debit maksimum turbin (m<sup>3</sup>/dtk)
- H = tinggi jatuh efektif (m)
- $\eta_T$  = efisiensi turbin
- $\eta_G$  = efisiensi generator

Daya yang dibangkitkan generator ini yang akan disalurkan ke pengguna. Dalam perencanaan jumlah kebutuhan daya di pusat beban harus di bawah kapasitas daya terbangkit, sehingga tegangan listrik stabil dan sistem menjadi lebih handal (berumur panjang).

Produksi energi tahunan dihitung berdasarkan tenaga andalan. Tenaga andalan dihitung berdasarkan debit andalan yang tersedia untuk pembangkit listrik dengan periode  $n$  harian.

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

Dimana:

$E$  = Energi tiap satu periode

$P$  = Daya (kW)

$n$  = Jumlah hari dalam satu periode

## 2. Pariwisata

Dalam Undang-undang RI No.9 tahun 1999 disebutkan definisi pariwisata adalah segala sesuatu yang berhubungan dengan wisata termasuk penggunaan obyek dan daya tarik perusahaan obyek dan daya tarik wisata serta usaha-usaha yang terkait di bidang tersebut.

Kawasan rekreasi merupakan kawasan yang menjual jasa. Pemasaran jasa pariwisata sangat tergantung pada:

1. Kebutuhan (*needs*),
2. keinginan (*wants*),
3. permintaan (*demands*) pengunjung.

Selama kawasan wisata dapat memenuhi beberapa hal tersebut diatas, dengan sendirinya penjualan produk jasa wisata akan terjadi.

## 3. Biaya Perencanaan

Untuk menghitung analisa ekonomi suatu proyek dilakukan analisa biaya dan memisahkan komponen-komponen biaya pada proyek tersebut. Biaya-biaya tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu:

1. Biaya langsung (*direct cost*)  
Yang termasuk komponen biaya langsung pada proyek pembangkit listrik adalah pipa pesat (*penstock*), rumah pembangkit (*power house*) dan instalasi pembangkit (*power equipment*). Sedangkan komponen biaya langsung pada proyek penataan kawasan pariwisata adalah penginapan (*cottage*), rekreasi/wisata air dan area permainan anak (*playground*), kolam renang, restoran dan wisata belanja.
2. Biaya tidak langsung (*indirect cost*)  
Yang termasuk komponen biaya tidak langsung adalah biaya tidak terduga (*contingencies*), biaya teknik (*engginering cost*) dan bunga (*interest*). Biaya tidak terduga (*contingencies*) terdiri dari biaya akibat kenaikan, inflasi dan pengeluaran lain yang besarnya adalah 10% dari biaya langsung. Biaya teknik (*engginering cost*) terdiri dari biaya untuk perencanaan desain mulai

studi awal, pra studi kelayakan, studi kelayakan, biaya perencanaan dan biaya pengawasan selama pelaksanaan konstruksi yang besarnya 8% dari biaya langsung. Faktor bunga (*interest*) berpengaruh terhadap biaya langsung, biaya tidak terduga dan biaya teknik.

## 4. Analisa Ekonomi

Tujuan utama analisa ekonomi adalah untuk:

1. Melakukan identifikasi tingkat kelayakan proyek,
2. Melakukan penilaian seberapa besar keuntungan yang akan diperoleh,
3. Melakukan justifikasi terhadap biaya yang diperlukan untuk pembangunan proyek tersebut dan kemungkinan pengembalian investasinya,
4. Melakukan identifikasi terhadap resiko-resiko yang mungkin akan menjadi kendala bagi proyek tersebut,
5. Melakukan identifikasi dampak proyek.

Metode perhitungan dalam analisa ekonomi yang umum dipakai adalah:

### 1. Metode *Net Present Value*

Komponen *cost* dan komponen *benefit* dihitung *present value* berdasarkan *interest rate* yang telah ditentukan. Harga *Net Present Value* diperoleh dari pengurangan *present value* komponen *benefit* dengan *present value* komponen *cost*. (Giatman, 2006:70)

$$NPV = PV_{\text{benefit}} - PV_{\text{cost}}$$

Dimana:

$NPV$  = *Net Present Value*

$PV$  = *Present Value*

Harga *Net Present Value* ini merupakan harga *present value* keuntungan. Apabila harga *Net Present Value* mempunyai tanda positif atau  $> 0$  berarti proyek yang ditinjau dapat digolongkan ekonomis dan layak untuk dibangun.

### 2. Metode *Benefit Cost Ratio*

Perbandingan antara *benefit* dan *cost* yang dihitung dengan membagi harga *present value* komponen *benefit* dengan harga *present value* komponen *cost*. Jika harga *B/C ratio*  $> 1,0$  maka proyek tersebut dikatakan ekonomis dan layak untuk dibangun. (Giatman, 2006:81)

$$BCR = \frac{PV_{\text{manfaat}}}{PV_{\text{biaya}}}$$

Dimana:

$BCR$  = *Benefit Cost Ratio*

$PV$  = *Present Value*

### 3. Metode *Internal Rate of Return*

Apabila semua komponen *cost* dan *benefit* sudah diperoleh, kemudian dapat dibuat *cash flow* dari semua komponen tersebut sesuai dengan umur ekonomis proyek yang diperkirakan. Dari *economic cash flow* ini kemudian dihitung besarnya *economic net benefit* untuk tiap tahun dan yang merupakan dasar dalam perhitungan nilai IRR. Perhitungan IRR dilakukan dengan mencari nilai *discount rate* sehingga nilai *present value benefit* sama dengan nilai *present value cost*, atau *net present value* sama dengan nol. Bila *discount rate* yang berlaku lebih besar dari nilai IRR, maka proyek tersebut layak untuk dilaksanakan. (Giatman, 2006:96)

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

Dimana:

I' = suku bunga memberikan NPV positif

I'' = suku bunga memberikan nilai PV negatif

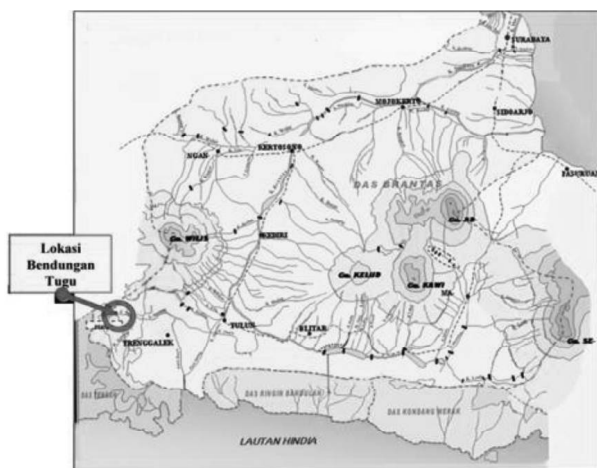
NPV = selisih antara *present value* dari manfaat dan *present value* dari biaya

NPV' = NPV positif

NPV'' = NPV negatif

### Metode Penelitian

Secara geografis rencana lokasi Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek terletak pada koordinat 111° 35' 07" Bujur Timur dan 08° 02' 27" Lintang Selatan. Luas daerah aliran sungai di lokasi bendungan adalah sebesar 43.06 km<sup>2</sup> dengan panjang sungai 9,295 km. Lokasi rencana bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Lokasi Rencana Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek

Tahapan pengerjaan studi dapat ditunjukkan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram Alir Pengerjaan Studi

## ANALISA DAN PEMBAHASAN

### Pembangkit Listrik

#### Analisa *Outflow* Waduk

Data *outflow* waduk yang dimanfaatkan untuk debit pembangkitan adalah debit kebutuhan irigasi ditambah dengan debit *maintenance*. Debit *outflow* waduk berubah sesuai periode tingkat kebutuhan irigasi di hilir bendungan.

Pada studi ini, rencana pembangkit listrik pada waduk Tugu dianggap bekerja secara terus menerus dalam waktu 24 jam per hari selama terdapat debit yang mengalir, sehingga *outflow* dengan periode 10 harian yang disajikan pada Tabel 7 merupakan debit pembangkitan.

#### Kehilangan Tinggi Tekan

##### Terowongan Tekan

Kehilangan tinggi tekan yang terjadi pada terowongan tekan disebabkan oleh saringan (*trashrack*), pemasukan (*entrance*), gesekan, belokan dan perubahan penampang.

#### Pipa Pesat (*Penstock*)

Diameter pipa pesat (*penstock*) direncanakan sebesar =

$$D = \frac{0,521}{0,785 \times 2,5^{0,5}}$$

0,54 ~ 0,60m

Kehilangan tinggi tekan yang terjadi pada pipa pesat (*penstock*) disebabkan oleh penyempitan penampang, gesekan dan belokan.

**Tabel 7 Debit Pembangkitan**

No	Bulan	DKD	Outflow (m <sup>3</sup> /detik)	MAW (m)
1	Apr	I	1.098	249.461
2	Apr	II	1.202	248.062
3	Apr	III	1.281	246.067
4	Mei	I	0.833	245.193
5	Mei	II	0.823	244.412
6	Mei	III	0.812	243.111
7	Jun	I	0.811	242.031
8	Jun	II	0.811	240.860
9	Jun	III	0.200	241.543
10	Jul	I	0.200	242.186
11	Jul	II	0.200	242.787
12	Jul	III	0.200	243.284
13	Agus	I	0.200	243.808
14	Agus	II	0.200	244.293
15	Agus	III	0.200	244.679
16	Sep	I	0.200	245.485
17	Sep	II	0.200	246.277
18	Sep	III	0.200	247.210
19	Okt	I	0.200	248.101
20	Okt	II	0.200	248.486
21	Okt	III	0.200	248.786
22	Nop.	I	0.879	247.371
23	Nop.	II	0.859	245.933
24	Nop.	III	0.679	244.995
25	Des	I	1.047	244.228
26	Des	II	1.118	243.768
27	Des	III	1.115	242.810
28	Jan	I	0.311	244.428
29	Jan	II	0.315	246.484
30	Jan	III	0.200	248.880
31	Peb	I	0.200	250.598
32	Peb	II	0.200	250.598
33	Peb	III	0.200	250.598
34	Mar	I	0.388	250.598
35	Mar	II	0.442	250.598
36	Mar	III	0.528	250.505
<b>Jumlah</b>			<b>18.752</b>	
<b>Rerata</b>			<b>0.521</b>	

Sumber: Anonim, 2010:VIII-3

**Tinggi Jatuh Efektif**

Tinggi jatuh efektif adalah selisih antara elevasi muka air waduk (MAW) dengan *tail water level* (TWL) dikurangi dengan total kehilangan tinggi tekan. Hasil perhitungan kehilangan tinggi tekan pada terowongan tekan dan pipa pesat serta tinggi jatuh efektif selengkapnya disajikan pada Tabel 8.

**Tebal Pipa Pesat**

$$H = \frac{0,002}{D} \frac{xt}{0,002xt}$$

$$78,010 = \frac{0,002}{0,50} \frac{16000xt}{0,002xt}$$

$$t = 0,00293 \text{ m} = 2,93 \text{ mm}$$

Menurut Arismunandar (1982:45), tebal minimum untuk pipa pesat (*penstock*) adalah 6,00 mm. Sehingga pada studi ini digunakan pipa baja BJ 37

dengan tebal minimum yaitu 6,00 mm dan perlu ditambah untuk keamanan akibat korosi sebesar 1,50 mm sehingga total tebal *penstock* adalah 7,50 mm.

**Tabel 8 Tinggi Jatuh Efektif**

No	Bulan	DKD	MAW (m)	TWL (m)	Kehilangan Tinggi		H <sub>eff</sub> (m)
					T. Tekan (m)	Penstock (m)	
1	Apr	I	249.461	176.000	0.321	1.122	72.018
2	Apr	II	248.062	176.000	0.384	1.344	70.334
3	Apr	III	246.067	176.000	0.436	1.526	68.104
4	Mei	I	245.193	176.000	0.185	0.646	68.362
5	Mei	II	244.412	176.000	0.180	0.630	67.602
6	Mei	III	243.111	176.000	0.176	0.614	66.322
7	Jun	I	242.031	176.000	0.175	0.612	65.241
8	Jun	II	240.860	176.000	0.175	0.612	64.073
9	Jun	III	241.543	176.000	0.011	0.037	65.495
10	Jul	I	242.186	176.000	0.011	0.037	66.138
11	Jul	II	242.787	176.000	0.011	0.037	66.739
12	Jul	III	243.284	176.000	0.011	0.037	67.236
13	Agus	I	243.000	176.000	0.011	0.037	67.760
14	Agus	II	244.293	176.000	0.011	0.037	68.245
15	Agus	III	244.679	176.000	0.011	0.037	68.632
16	Sep	I	245.485	176.000	0.011	0.037	69.437
17	Sep	II	246.277	176.000	0.011	0.037	70.229
18	Sep	III	247.210	176.000	0.011	0.037	71.162
19	Okt	I	248.101	176.000	0.011	0.037	72.053
20	Okt	II	248.486	176.000	0.011	0.037	72.438
21	Okt	III	248.786	176.000	0.011	0.037	72.738
22	Nop.	I	247.371	176.000	0.205	0.718	70.447
23	Nop.	II	245.933	176.000	0.196	0.686	69.050
24	Nop.	III	244.995	176.000	0.123	0.429	68.443
25	Des	I	244.228	176.000	0.292	1.020	66.916
26	Des	II	243.768	176.000	0.332	1.163	66.273
27	Des	III	242.810	176.000	0.330	1.156	65.324
28	Jan	I	244.428	176.000	0.026	0.090	68.313
29	Jan	II	246.484	176.000	0.026	0.092	70.366
30	Jan	III	248.880	176.000	0.011	0.037	72.832
31	Peb	I	250.598	176.000	0.011	0.037	74.551
32	Peb	II	250.598	176.000	0.011	0.037	74.551
33	Peb	III	250.598	176.000	0.011	0.037	74.551
34	Mar	I	250.598	176.000	0.040	0.140	74.419
35	Mar	II	250.598	176.000	0.052	0.182	74.364
36	Mar	III	250.505	176.000	0.074	0.259	74.172

Sumber: Hasil Perhitungan

**Optimasi Unit Pembangkit**

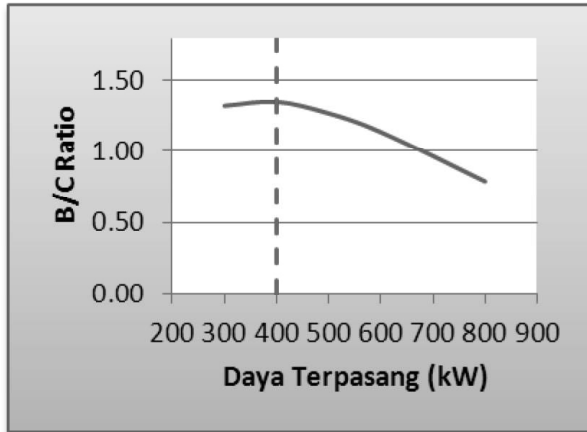
Penetapan daya terpasang dilakukan dengan cara coba-coba unit pembangkit. Daya terpasang dipilih dari lima macam yaitu 300 kW, 400 kW, 500 kW, 600 kW dan 800 kW dan perbandingan B/C ratio masing-masing alternatif disajikan pada Tabel 9 dan Gambar 5.

**Tabel 9 Perbandingan B/C Ratio Masing-masing Alternatif**

No.	Daya Terpasang (kW)	Harga Peralatan E/M (Rp)	Annual Benefit (Rp)	B/C Ratio
1	300	3,352,482,000.00	1,177,886,280.33	1.295
2	400	3,413,193,000.00	1,404,090,807.26	1.315
3	500	3,990,462,000.00	1,572,894,432.15	1.218
4	600	4,788,966,000.00	1,669,019,573.14	1.082
5	800	6,802,719,000.00	1,718,977,251.72	0.733

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 9 dan Gambar 5 unit pembangkit dengan daya terpasang 400 kW merupakan unit pembangkit yang paling optimal dengan nilai *B/C ratio* paling tinggi yaitu 1,315.



**Gambar 5** Perbandingan B/C Ratio Masing-masing Alternatif

**Penentuan Tipe dan Dimensi Turbin**

Tipe turbin yang akan dipakai pada pembangkit listrik dapat ditentukan dengan melihat tinggi jatuh dan debit rata-rata yang dibangkitkan. Berdasarkan tinggi jatuh yang berubah setiap periode 10 harian diambil tinggi jatuh rata-rata yaitu 69,681 m dan debit rata-rata 0,521 m<sup>3</sup>/detik, maka dengan melihat Gambar 2 dapat ditentukan jenis turbin yang dipakai pada pembangkit listrik Bendungan Tugu adalah turbin Francis.

Perhitungan dimensi turbin tipe Francis sebagai berikut:

1. Diameter runner bagian luar

$$D = 38,93 \times \frac{\sqrt{H}}{N}$$

$$38,93 \times \frac{\sqrt{74,834}}{300} = 1,12 \text{ m}$$

2. Diameter runner bagian dalam

$$\frac{D_1}{D} = \frac{2}{3} \quad D_1 = \frac{2}{3} \times D = \frac{2}{3} \times 1,12 = 0,75 \text{ m}$$

3. Kecepatan spesifik

- Daya maksimum turbin = 400 kW
  - Tinggi jatuh efektif = 74,551 m
- sehingga:

$$N_s = N \times \frac{\sqrt{P}}{H^{5/4}} = 300 \times \frac{\sqrt{400}}{74,551^{5/4}} = 27,385 \text{ rpm}$$

**2. Pengembangan Kawasan Pariwisata  
Perencanaan Kawasan Wisata**

Sesuai kondisi topografi sekitar bendungan, rencana pengembangan kawasan wisata bendungan Tugu menggunakan lahan seluas 9,86 Ha dengan pembagian fasilitas terdiri dari:

- a. Penginapan(cottage) = 20 unit
- b. Rekreasi/wisata air dan taman bermain (play-ground)
- c. Kolam renang, dengan total luas 7.536,80 m<sup>2</sup>
- d. Restoran
- e. Kios/Wisata belanja = 19 unit

**Proyeksi Pendapatan**

Proyeksi pendapatan dari kawasan wisata bendungan Tugu diperoleh dari berbagai macam pemasukan antara lain:

1. Penginapan (cottage) disajikan pada Tabel 10.

**Tabel 10** Proyeksi Pendapatan Penginapan per tahun.

No.	Rincian Penjualan	Jumlah
1	Pendapatan :	860,200,000.00
	Tarif 1 = 20x40% xRp.175.000x268	375,200,000.00
	Tarif 2 = 20x100% xRp.250.000x97	485,000,000.00
		860,200,000.00

Sumber: Hasil Perhitungan

2. Tiket Masuk  
Pendapatan = 572.316 x Rp. 5.000,00  
= Rp. 2.861.580.000,00/th
3. Sewa Toko/Kios  
Pendapatan = (Rp.36.000,00 x12) x19  
= Rp. 8.208.000,00 /th
4. Parkir disajikan pada Tabel 11

**Tabel 11.** Perhitungan Pendapatan dari Retribusi Parkir Per Tahun

No.	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan /Tahun	Biaya Parkir (Rp)	Jumlah (Rp)
1	Roda 2	249,067	1,000	249,067,000
2	Roda 4	18,722	2,000	37,444,000
<b>Total</b>				286,511,000

Sumber: Hasil Perhitungan

**Perkiraan Biaya Investasi**

1. Biaya Pertama, disajikan pada Tabel 12.
2. Biaya Operasional dan Pemeliharaan  
Biaya operasional dan pemeliharaan (OP) merupakan kumpulan biaya-biaya yang dikeluarkan per tahun selama umur investasi. Biaya operasional dan pemeliharaan terdiri dari:
  1. Pembangkit Listrik  
Biaya operasional dan pemeliharaan (OP) yang terjadi pada pembangkit listrik dikategorikan menjadi 3, yaitu:
    - Biaya operasional dan pemeliharaan (OP) tahunan=Rp. 291.500.000,00



**Tabel 12. Perkiraan Biaya Investasi**

No.	Uraian	Jumlah Harga (Rp)
I.	Pekerjaan Persiapan	425,000,000.00
II.	Pembangkit Listrik	3,848,710,367.77
III.	Penginapan (cottage) = 20 Unit	3,695,479,977.22
IV.	Rekreasi/Wisata Air/ Playground	2,926,352,656.42
V.	Restoran	1,215,000,000.00
VI.	Kolam Renang	1,064,999,703.75
VII.	Toko/Wisata Belanja	572,848,203.00
VIII.	Akses Jalan	529,652,503.80
IX.	Total Biaya Langsung	14,278,043,411.96
	Biaya Administrasi (4%)	571,121,736.48
	Biaya Layanan Engineering (8%)	1,142,243,472.96
	Biaya Fisik Tak Terduga (10%)	1,427,804,341.20
X.	Total Biaya Tidak Langsung	3,141,169,550.63
	Biaya Proyek Tanpa PPN	17,419,212,962.59
	PPN 10%	1,741,921,296.26
<b>XI.</b>	<b>Total Keseluruhan</b>	<b>19,161,134,258.85</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

- Biaya operasional dan pemeliharaan (OP) 5 tahunan = Rp. 384.000.000,00
  - Biaya operasional dan pemeliharaan (OP) 10 tahunan = Rp. 476.500.000,00
2. **Penginapan (cottage)**  
 Besarnya biaya operasional untuk penginapan dan hotel adalah 17,5% dari total pendapatan atau penjualan kamar (IBM Wiyasha, 2007). Dari Tabel 6 jumlah pendapatan atau sewa kamar penginapan (cottage) adalah Rp. 860.200.000,00/tahun sehingga besarnya biaya operasional penginapan (cottage) adalah  
 $= 17,5\% \times \text{Rp. } 860.200.000,00$   
 $= \text{Rp. } 150.535.000,00/\text{tahun}.$
3. **Biaya Perawatan Kawasan Wisata**  
 Anggaran operasional di kawasan wisata bendungan Tugu terdiri dari biaya perawatan kawasan wisata dan biaya gaji pegawai (sumber daya manusia) sebagai pengelola kawasan wisata. Biaya ini diasumsikan 17,5% dari total penerimaan tiket masuk, retribusi parkir dan sewa toko.  
 Penerimaan dari tiket masuk, retribusi parkir dan sewa toko:  
 $= \text{Rp. } 3.156.299.000,00/\text{tahun}.$   
 Sehingga besarnya biaya operasional  
 $= 17,5\% \times \text{Rp. } 3.156.299.000,00 = \text{Rp. } 552.352.325,00/\text{tahun}.$

## Analisa Ekonomi

Pembangunan bendungan Tugu direncanakan selama 4 tahun anggaran, sedangkan kegiatan tambahan yaitu pembangkit listrik dan pengembangan kawasan wisata ini direncanakan selama 1 tahun dan dilaksanakan setelah pembangunan bendungan Tugu selesai atau pada tahun ke-5. Umur proyek pembangkit listrik dan pengembangan kawasan wisata mengikuti umur proyek bendungan Tugu yaitu selama 30 tahun. Dengan demikian jika proyek pembangkit listrik dan pengembangan kawasan wisata dilaksanakan selama 1 tahun yaitu pada tahun ke-5 maka sisa umur proyek pembangkit listrik dan pengembangan kawasan wisata adalah 29 tahun dimulai pada tahun ke-6 sampai tahun ke-34. Pada tahun ke-5 Bendungan Tugu telah memberikan manfaat yaitu untuk irigasi dan air baku, sedangkan manfaat dari pembangkit dan pariwisata terjadi pada tahun ke-6.

Dari *cash flow* pada Tabel 13 dilakukan perhitungan-perhitungan analisa ekonomi seperti disajikan pada Tabel 14.

Jika dibandingkan dengan hasil analisa ekonomi pada kondisi perencanaan awal bendungan Tugu, terdapat kenaikan nilai kelayakan proyek setelah ditambah dengan proyek pembangkit listrik dan pengembangan kawasan wisata.

Dilakukan analisa kepekaan (sensitivitas) dengan 5 kondisi: normal, biaya naik 10%, biaya naik 20%, manfaat turun 10% dan manfaat turun 20% dapat dilihat pada Tabel 15.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil analisa dan pembahasan dalam studi ini, maka beberapa hal yang dapat disimpulkan adalah:

1. Daya listrik optimum yang dapat dibangkitkan dengan memanfaatkan debit untuk irigasi dan *maintenance* di bendungan Tugu adalah 400 kW.
2. Berdasarkan analisa ekonomi diperoleh hasil bahwa dengan penambahan manfaat Bendungan Tugu sebagai pembangkit listrik dan tempat pariwisata akan memberikan nilai manfaat yang lebih baik, yaitu:
  - BCR dari 1,115 menjadi 1,142
  - NPV dari Rp. 36.705.066.329,00 menjadi Rp. 53.165.809.819,00
  - IRR dari 13,057% menjadi 13,408%.

Berdasarkan analisa kepekaan (sensitivitas) selain dalam kondisi normal proyek masih layak dilaksanakan jika dalam kondisi biaya naik 10% dan manfaat turun 10%.



Tabel 15. Analisa Kepekaan (sensitivitas)

No	Parameter	Kondisi Normal	Kondisi Biaya Naik 10%	Kondisi Biaya Naik 20%	Kondisi Manfaat Turun 10%	Kondisi Manfaat Turun 20%	
1	BCR : 8%	1.803	1.650	1.534	1.639	1.457	
		10%	1.419	1.297	1.203	1.144	
		<b>12%</b>	<b>1.142</b>	<b>1.043</b>	<b>0.965</b>	<b>1.035</b>	<b>0.920</b>
		14%	0.938	0.856	0.791	0.849	0.755
		16%	0.785	0.716	0.660	0.710	0.631
		18%	0.667	0.608	0.561	0.603	0.536
		20%	0.575	0.524	0.483	0.519	0.462
2	NPV (Rp) : 8%	328,312,835,887	290,455,114,795	256,722,494,277	258,705,429,637	184,972,922,812	
		10%	163,562,631,122	126,875,498,653	93,364,349,041	111,337,561,810	55,936,509,642
		<b>12%</b>	<b>53,165,809,819</b>	<b>17,581,802,185</b>	<b>-15,502,135,792</b>	<b>12,895,623,029</b>	<b>-29,874,633,418</b>
		14%	-22,350,071,299	-56,893,150,795	-89,429,859,531	-54,164,909,242	-87,986,117,944
		16%	-74,942,625,698	-108,502,214,873	-140,424,506,572	-100,616,881,148	-127,928,434,073
		18%	-112,120,897,467	-144,750,125,762	-176,023,822,236	-133,224,448,505	-155,683,531,365
		20%	-138,705,824,182	-170,453,912,942	-201,065,673,420	-156,329,464,691	-175,089,433,483
3	IRR (%)	13.408	12.472	11.581	12.385	10.972	

Sumber: Hasil Perhitungan

Giattman, M. 2006. *Ekonomi Teknik*. Jakarta : Raja Grafindo Persada.

Linsley, R.K., dan Franzini, J.B. 1985. *Teknik Sumber Daya Air* Jilid 1. Jakarta : Erlangga.

Varshney, R.S. 1977. *Hydro-Power Structure*. India: N.C Jain at the Roorkee Press.

Webber. 1978. *Fluid Mechanics for Civil Engineers*. London: Halsted Press.